



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TÍTULO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA BARSHA”

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECÁNICO.

Autor:

ALEX PATRICIO SANMARTÍN UREÑA

LOJA – ECUADOR

2022

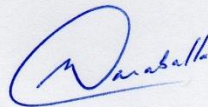
CERTIFICACIÓN:

Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD.
DIRECTOR DE TESIS.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA BARSHA**”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: Alex Patricio Sanmartín Ureña, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

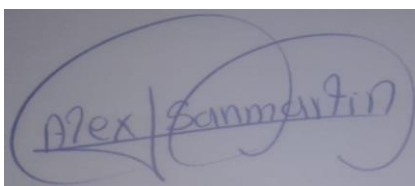
Loja, 09 de marzo de 2020.



Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA:

Yo, **ALEX PATRICIO SANMARTIN UREÑA**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma
Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

A handwritten signature in blue ink that reads "Alex Sanmartín". The signature is written in a cursive style and is enclosed within a faint, hand-drawn oval shape.

Firma:

Cédula: 1726652397

Fecha: 09 de marzo de 2020

CARTA DE AUTORIZACIÓN:

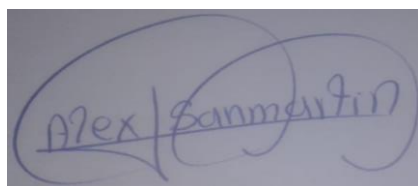
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **ALEX PATRICIO SANMARTIN UREÑA**, declaro ser autor de la tesis titulada: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA BARSHA**”, como requisito para optar el grado de: **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con la cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de enero del dos mil veintidós.



Firma:

Autor: Alex Patricio Sanmartín Ureña.

Cédula: 1726652397

Dirección: Loja, Carlos Mariategui y Ángel María Jadán Peralta

Correo Electrónico: sanmartín_alex19@yahoo.es

Teléfono: 6061053 **Celular:** 0988576514

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD.

Tribunal de Grado:

Ing. Milton León Amable Tapia, Mg. Sc

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrio Cruz, Mg. Sc

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg.Sc

DEDICATORIA:

El presente trabajo está dedicado principalmente a Dios, a mis padres, hermanos y esposa, por haberme brindado la confianza y ayuda en este proceso, ya que gracias al apoyo de todos y cada uno de ellos he logrado alcanzar las metas propuestas.

A mí querida hija que es mi principal impulso para seguir adelante y esforzarme cada día más.

A mis amigos por estar presentes en los momentos más difíciles, a toda mi familia y a las personas que de alguna forma ya sea directa o indirecta han marcado mi vida de manera positiva ya que cada uno de ellos me han manifestado su apoyo incondicional para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO:

A la Universidad Nacional de Loja, ya que en esta gran institución recibí el conocimiento intelectual y humano útil para la vida, a todos los docentes que a lo largo de la carrera han sabido guiarme por el camino de sabiduría. Especial agradecimiento al Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD. Director de mi Tesis por sus consejos, amistad y asesoría, al Ing. Byron Solórzano, Mg. Sc. y al Ing. Marco Rojas, quienes gracias a su apoyo y asesoría pude concluir con el presente proyecto. Gracias a todos mis amigos y compañeros con los cuales compartí momentos inolvidables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN:	II
AUTORÍA:	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN:	IV
DEDICATORIA:	V
AGRADECIMIENTO:	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.	XI
ÍNDICE DE TABLA.	XIII
SIMBOLOGÍA.	XIV
1. TITULO.	1
2. RESUMEN.	2
3. INTRODUCCIÓN.	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.	6
4.1. Nociones hidráulicas.	6
4.1.1. Presión absoluta y manométrica.....	6
4.1.2. Relación entre la presión y cambio de profundidad.....	6
4.1.3. Presión hidrostática.	7
4.1.4. Pérdida y ganancia de energía.	9
4.1.4.1. Bomba.	9
4.1.4.2. Fricción del fluido.	9
4.2.4.3. Accesorios.	9
4.1.5. Ecuación general de la energía.....	9

4.2. Bomba Barsha.	10
4.2.1. Introducción a la bomba-Barsha.	10
4.2.2. Principio de funcionamiento de la bomba Barsha.....	11
4.2.3. Operación de la Bomba Barsha.	12
4.2.4. Partes y componentes de la Bomba Barsha.....	12
4.2.4.1. Espiras.	13
4.2.4.2. Paletas.	14
4.2.4.3. Sistema de flotación.	14
4.2.4.4. Estructura.	15
4.2.4.5. Manguera de descarga.	15
4.2.4.6. Articulación Hidráulica.	15
4.2.4.7. Boca de entrada.	15
4.2.5. Bombas con similar principio de funcionamiento.	16
4.2.5.1. Bomba de tornillo.....	16
4.2.5.2. Bomba de espiras.	16
4.3. Selección de materiales para la bomba Barsha.	16
4.3.1. Selección de materiales para la estructura.	16
4.3.2. Selección de materiales para las paletas.....	17
4.3.3. Selección de materiales para espiras.	17
4.3.4. Selección de materiales para el sistema de flotación.	17
4.3.5. Selección del material para el sistema de entrada de agua.....	17

4.3.6. Selección del material para la descarga.....	17
4.4. Criterios de diseño de la Bomba-Barsha.....	17
4.4.1. Proceso de diseño de una bomba Barsha.....	18
4.4.1.1. Parámetro de diseño de las paletas.....	18
4.4.1.2. Parámetro de diseño de la estructura.....	19
4.4.1.3. Parámetro de diseño del mecanismo de acople con la tubería de descarga. ..	19
4.4.1.4. Diseño de las ruedas espirales.....	19
4.4.2 Cálculo del diámetro del eje.....	21
4.4.3. Diseño del eje de la bomba Barsha.....	22
4.4.4. Selección de los rodamientos.....	23
4.5. Experiencias referenciadas sobre la construcción y funcionamiento de la bomba Barsha.....	24
4.5.1. Descripción de modelos ya construidos.....	24
4.5.2. Eficiencia de los modelos ya construidos.....	26
4.5.3. Descripción de los costos de modelos ya construidos.....	27
4.6. Conclusiones de la revisión de literatura.....	28
4.6.1. Resumen de la revisión de literatura.....	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1. Materiales.....	29
5.2. Métodos.....	29
5.3. Construcción de la Bomba Barsha.....	61
5.4. Construcción de la estructura que soporta la bomba.....	62

6. RESULTADOS.....	68
6.1. Desarrollo de los datos tomados en el campo.	68
6.1.1. Cálculo de la velocidad del agua en el canal.....	68
6.1.2. Cálculo de la velocidad angular de la rueda espiral.	69
6.1.3 Valoración económica.....	70
6.1.4. Costos de materiales.....	71
6.1.5. Análisis del Impacto Ambiental.....	72
6.1.6. Reglas para la operación de la bomba.....	72
6.1.7. Mantenimiento de la bomba.....	72
6.2. Pruebas del dispositivo.....	72
7. DISCUSIÓN.....	81
8. CONCLUSIONES.....	82
9. RECOMENDACIONES.....	83
10. BIBLIOGRAFÍA.....	84
11. ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Elevación de un objeto sumergido en un líquido.	7
Figura 2: Análisis de presión de bombas de espiral.....	8
Figura 3: Espiral de la Bomba Barsha.	11
Figura 4: Componentes de la bomba.	13
Figura 5: Espiras de la Bomba.....	14
Figura 6: Se Muestra la distribución de las paletas.	14
Figura 7: Estructura de la Bomba.	15
Figura 8: Versión para canales.....	24
Figura 9: Versión para ríos poco profundos.	25
Figura 10: Versión para ríos profundos.	26
Figura 11: Espiral de la Bomba Barsha.	30
Figura 12: Paleta.....	32
Figura 13: Espiral de la bomba Barsha.	33
Figura 14: Ángulos de la espiral.....	34
Figura 15: Arandela de sujeción.	38
Figura 16: Varilla.....	41
Figura 17: Varilla de soporte.	41
Figura 18: Varilla de agarre de las espirales.	43
Figura 19: Distribución del peso en el eje.	45
Figura 20: Diagrama de momento flector y momento cortante.....	49
Figura 21: Ubicación de la fuerza en la paleta.....	51
Figura 22: Ángulo de separación de las paletas	52
Figura 23: Ubicación de la paleta 2.	52
Figura 24: Ubicación de la fuerza tangencial 2.....	55
Figura 25: Ubicación del momento torsor en el eje.....	56
Figura 26: Diagrama del momento Torsor.	56
Figura 27: Rodamiento FAG.....	61

Figura 28: Corte de los tubos.....	62
Figura 29: Montaje de la estructura.....	62
Figura 30: Corte de la platina.....	63
Figura 31: Doblado de las varillas.....	63
Figura 32: Varilla de soporte de las espirales.....	63
Figura 33: Paletas.....	64
Figura 34: Disco.....	64
Figura 35: Montaje del eje.....	65
Figura 36: Perforación del eje.....	65
Figura 37: Montaje de las piezas.....	65
Figura 38: Pintado de la Bomba.....	66
Figura 39: Pintado final.....	66
Figura 40: Bomba Barsha final.....	67

ÍNDICE DE TABLA.

Tabla 1: Condiciones para el funcionamiento.	12
Tabla 2: Dimensiones y peso.	18
Tabla 3: Versión para canales.	25
Tabla 4: Versión para ríos poco profundos.	25
Tabla 5: Versión para ríos profundos.	26
Tabla 6: Eficiencia de la bomba.	27
Tabla 7: Coeficientes de arrastres comunes.	50
Tabla 8: Datos tomados de campo.	68
Tabla 9: Tabla de datos.	70
Tabla 10: Presupuesto de la bomba (propio)	71
Tabla 11: Datos de campo.	73
Tabla 12: Caudal de descarga.	73
Tabla 13: Curva de la bomba Barsha.	74
Tabla 14: Tiempo de llenado del recipiente a distintas alturas.	75
Tabla 15: Fuerza del canal sobre las paletas.	76
Tabla 16: Caudal y número de revoluciones a diferentes alturas.	77
Tabla 17: Grafica de las alturas en función del caudal.	78
Tabla 18: Trabajo realizado por la Bomba.	80

SIMBOLOGÍA.

P: Presión

F: Fuerza

A: Área

Pabs: Presión absoluta

Pman: Presión manométrica

Patm: Presión atmosférica

P_h: Presión hidrostática

ρ: Densidad

h: Altura del fluido

g: Aceleración de la gravedad

V: Volumen

v: Velocidad

E: Energía

h_A: Energía que se agrega al fluido

h_R: Energía que se remueve del fluido

h_L: Pérdida de energía

P_o: Potencia

γ_{agua}: Densidad del agua

Q: Caudal

H: Altura de descarga

Mt: Momento torsor

R: Radio

N_e: Número de espiras

R_e: Radio exterior

R_i: Radio interior

h_p: Paso constante

L_e: Longitud lineal de la espiral

R_m: Radio medio

t: Tiempo

ω: Velocidad angular

n: Número de revoluciones

d_{eje} : Diámetro del eje
 σ_y : Esfuerzo a la fluencia del material
 n_s : Factor de seguridad
 k_b : Factor combinado de choque y fatiga, aplicada al momento flector
 k_t : Factor combinado de choque y fatiga, aplicada al momento de torsión
 k : Relación entre diámetros
 σ_{eq} : Tensión equivalente
 σ : Esfuerzo de flexión
 τ : Esfuerzo cortante de torsión
 w : Módulo de la sección
 α : Relación entre d_i/d_e
 w_p : Módulo polar de la sección
 M_{fmax} : Momento flector máximo
 D_e : Diámetro exterior del eje
 d_i : Diámetro interior del eje
 P_c : Carga dinámica equivalente
 P_d : Fuerza máxima corregida
 f_s : Factor de esfuerzo estático
 f_n : Factor de velocidad
 p : Factor exponencial
 C : Capacidad de carga
 f_i : Factor de esfuerzo dinámico
 m : Masa
 $D_{imanguera}$: Diámetro interior de la manguera
 $D_{emanguera}$: Diámetro exterior de la manguera
 ρ_{acn} : Densidad del acero negro
 e_{acn} : Espesor del acero negro
 a : Largo
 b : Ancho
 $n_{paletas}$: Número de paletas
 V_{acn} : Volumen del acero negro
 w : Peso
 R_1 : Reacción en los apoyos

Q: Esfuerzo cortante

h_s : Altura sumergida

F_a : Fuerza de arrastre

∞ : Relación de a/b

C_D : Coeficiente de arrastre

F_t : Fuerza tangencial

n: Número de revoluciones por minuto

T_p : Tiempo promedio

rev: Revoluciones

W_{ent} : Trabajo de entrada

W_{sal} : Trabajo de salida

η : Rendimiento

1. TITULO.

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BOMBA BARSHA”

2. RESUMEN.

El presente proyecto se refiere al diseño y construcción de una bomba hidro-propulsada. Su funcionamiento se basa, exclusivamente, en caudales de ríos o canales de riego, por lo que no requiere de combustibles o electricidad para su funcionamiento. La construcción se realizó utilizando materiales disponibles en la localidad, a partir del diseño que se describe en el trabajo. Esta bomba tiene dos espirales de manguera enrollada, en la mitad de las dos espirales están las paletas, mismas que al rotar permite que ingrese a las dos espirales, tramos de agua y aire alternadamente. Dentro de las espirales el aire es comprimido por el agua, mismo que presuriza el agua a su salida lo que genera una determinada altura de bombeo. La operación de la bomba no produce contaminación ambiental, teniendo un costo de operación mínimo, así como un montaje y desmontaje fácil para cualquier usuario. Una vez construida la bomba se pudo comprobar que la máxima altura de bombeo es de 10m, entrega una presión manométrica de 14psi, con flujo constante de agua de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Palabras clave: Bomba hidro-propulsada; espirales enrolladas; altura de bombeo 10 m; Bombas con similares principios de funcionamiento; Bomba Barsha.

Summary

This project was the design and construction of a hydro-propelled pump, which operation is due exclusively to the flow of rivers or irrigation channels, so it doesn't require any kind of fuel or electricity to operate. The construction was carried out using materials available in the locality, from the design described in the work. This pump has two spirals which are coiled hose, in the middle of these it has paddles in such a way that when rotating this enters sections of water and air alternately, inside the spirals the air is compressed by the water resulting in the outlet a pressure that manages to raise the fluid to a certain height.

This pump is an efficient product, having a zero-operating cost, has an easy assembly and disassembly for any user, once built it could be verified that the maximum pumping height was 10m, and delivers a pressure of 14psi with a constant flow of water of $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Keywords: Hydro-propelled pump; coiled spirals; pumping height 10 m; Pumps with similar operating principles; Barsha Pump.

3. INTRODUCCIÓN.

La bomba BARSHA fue creada por la empresa holandesa aQysta, la primera en crear un prototipo nuevo e innovador, para regar los campos sin utilizar combustibles ni electricidad.

La forma de trabajo de la bomba hidro–propulsada es la de las norias de los molinos de agua, también tiene el principio de una bomba de espiral.

La bomba, ha sido nombrada recientemente, por la empresa Climate-KIC´s, como la bomba más innovadora que utiliza energía limpia. Se presenta como una alternativa sostenible a las bombas actuales utilizadas en los sectores agrícolas y ganaderos, está principalmente destinada a pequeños y medianos productores agrícolas.

Está diseñada como una bomba de riego, de bajo costo que permite a las comunidades rurales regar sus campos. Esta bomba hidro–propulsada puede ser fácilmente instalada en cualquier lugar donde hay un río o canal de agua cerca de los campos, puede utilizarse como una unidad autónoma para bombear agua al campo o puede combinarse con otras tecnologías como los sistemas de riego por goteo o por aspersión.

Esta bomba permite ahorrar en los costos de riego para los agricultores, en comparación con las bombas convencionales basadas en los combustibles fósiles; además, no generan emisiones de CO₂, tienen costo de operación mínima; por otra parte, requiere de un mantenimiento básico ya que posee solo una parte móvil. Por lo anterior, esta bomba por su diseño y funcionamiento resulta especialmente atractiva para el sector rural de nuestra provincia.

La realización del trabajo da solución al siguiente problema científico: ¿Cómo diseñar e implementar un prototipo de bomba Barsha con fines de análisis?, para lo cual se planteó los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Diseñar y construir un prototipo de bomba Barsha.

Objetivos Específicos

- Desarrollar el diseño conceptual de la bomba Barsha mediante el análisis de modelos ya construidos.
- Construir el diseño a detalle de los sistemas y mecanismos de la bomba Barsha.
- Analizar el funcionamiento y eficiencia del prototipo de la bomba Barsha.

La hipótesis que se pretende demostrar es la siguiente: Mediante el diseño y la construcción de la bomba se puede caracterizar y evidenciar el principio de funcionamiento, con un caudal de entrega de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, y una altura de 5 m.c.a respectivamente.

4. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1. Nociones hidráulicas.

Es la parte que estudia las propiedades mecánicas de los líquidos, dependiendo a las fuerzas a los que son sometidos.

4.1.1. Presión absoluta y manométrica.

La presión se define como la razón que existe entre una fuerza aplicada sobre un área determinada, la cual queda definida por la ecuación 1.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde:

- P = Presión
- F = Fuerza
- A = Área

El cálculo de la presión de un fluido, se debe efectuar en relación con alguna presión de referencia. Es normal que la presión atmosférica sea la presión de referencia. Así, la presión que arroja la medición del fluido se llama presión manométrica. (Mott, 2006, pág. 53). Mientras que la presión que se mide con un vacío perfecto se denomina presión absoluta.

Es de suma importancia que se conozca la diferencia entre estas dos presiones, para poder manejarlas y convertirlas de una presión a otra, y se lo representa con la ecuación 2.

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad (2)$$

Donde:

- Pabs = Presión absoluta
- Pman = Presión manométrica
- Patm = Presión Atmosférica

4.1.2. Relación entre la presión y cambio de profundidad.

Existen situaciones en la que es importante saber la variación de la presión con respecto al cambio de profundidad o de elevación. El término elevación significa la distancia vertical a partir de algún nivel de referencia hasta el punto de interés, y se lo llama z. Al cambio en la elevación entre dos puntos se lo denomina h. (Mott, 2006, pág. 55).

La elevación se medirá siempre positiva en la dirección hacia arriba.

Se puede observar en la **Figura 1**. Como se encuentra la elevación con respecto a un cuerpo sumergido en un líquido.

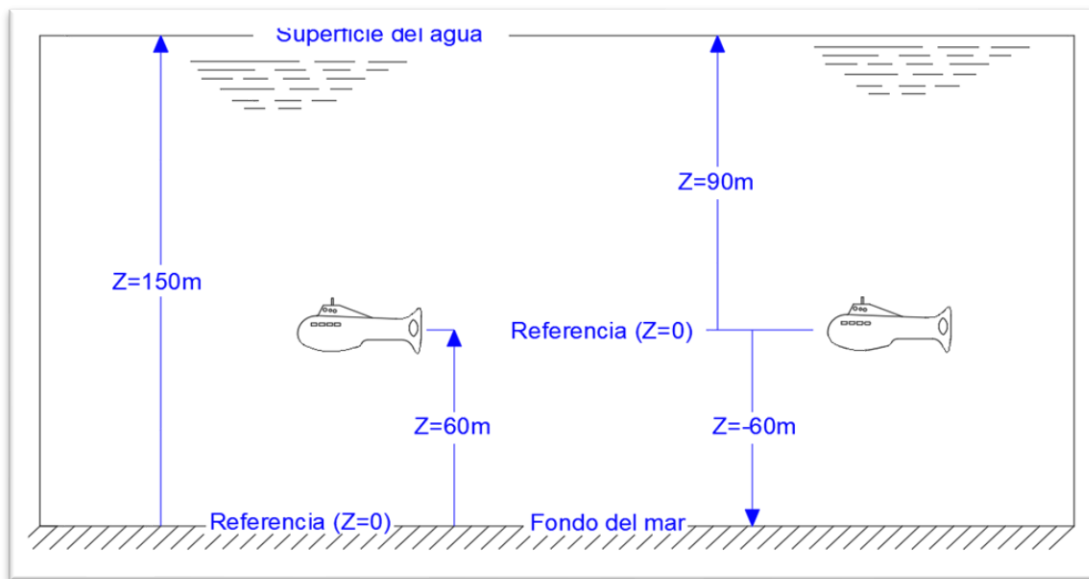


Figura 1: Elevación de un objeto sumergido en un líquido.
Fuente: Propio.

4.1.3. Presión hidrostática.

Un fluido ejerce presiones sobre las paredes y el fondo del recipiente que lo contiene y sobre todo en la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión se llama presión hidrostática. Si el líquido se encuentra en reposo provoca una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente y la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras. Si el líquido se encuentra en movimiento las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían perpendiculares a las superficies (Echeverría, 2012, pág. 14). Esto depende de la densidad del líquido y la altura en la que se encuentra sumergido y se lo calcula mediante la siguiente ecuación.

$$P_h = \rho gh + P_{atm} \quad (3)$$

Donde:

- P_h = Es la presión hidrostática
- ρ = Es la densidad del líquido
- h = La altura del fluido
- g = Es la aceleración de la gravedad

La presión es proporcional a la profundidad del punto con respecto a la superficie, y por lo tanto es independiente del tamaño o forma del recipiente. La presión en el fondo de una tubería

llena de agua de 1 cm de diámetro y 15 m de altura es la misma que en el fondo de un lago de 15 m de profundidad.

A una bomba Barsha se la analiza mediante un conjunto de tubos en U conectados como en la **Figura 2**. Donde se aplican los principios anteriormente descritos.

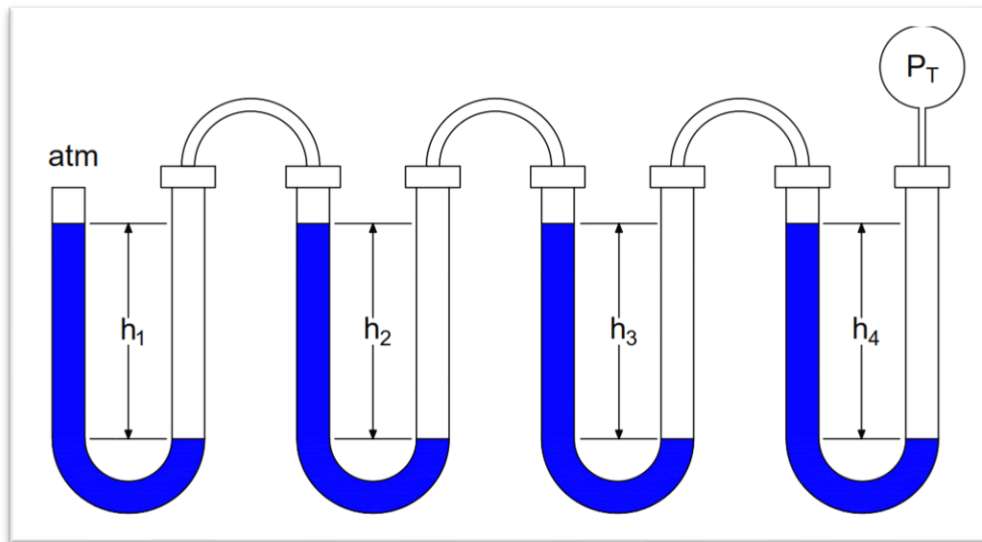


Figura 2: Análisis de presión de bombas de espiral.
Fuente: Propio.

La ecuación de la presión en las espiras de la bomba sería, creciente en la medida que se incrementan el número de espiras.

$$P_h = \rho g(h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) + P_{atm} \quad (4)$$

La bomba Barsha se debe construir de modo que, en cada revolución de las espirales, las cucharas recojan un volumen de agua en la espira exterior, al llevar agua en las espiras, cada columna de agua transmite la presión a través del aire a la columna anterior de agua, de esta forma el agua en cada espira se desplaza para proporcionar una cabeza de presión. “Una bomba ideal seguirá la relación de presión-volumen de Boyle y los volúmenes de la bobina cambiarán con respecto a los cambios de los volúmenes de aire atrapados” (Tailer, s.f.). En este caso se cumple que:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_n V_n \quad (5)$$

Esto implica que, a temperatura constante, el volumen de una masa fija de un gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce.

4.1.4. Pérdida y ganancia de energía.

Las pérdidas y ganancias de energía en la bomba Barsha, dependerá de los distintos componentes que van a conformar la bomba, en algunas ocasiones se entregara energía al sistema mediante las espiras de la bomba, la cual será aprovechada para poder ser utilizada por el sistema, mientras mayor la rugosidad y los accesorios que se coloquen en la bomba estos componentes quitaran energía al sistema que provocarán pérdidas indeseables.

Una de las pérdidas que se debe tener en cuenta es la pérdida por fricción en relación con el fluido que va pasando por la tubería, válvulas, accesorios, reducción de tamaño de tubería etc., y los distintos componentes que atraviese el fluido hasta llegar a su destino final.

4.1.4.1. Bomba.

La bomba es un ejemplo común donde se añade energía a un fluido. Existen distintos tipos de bombas y modelos, una bomba impulsa un eje rotatorio, entonces esta bomba aprovecha esta energía cinética y la trasmite al fluido, lo que provoca un movimiento de este, y un aumento en su presión.

4.1.4.2. Fricción del fluido.

Un fluido en movimiento presenta una resistencia por fricción al fluir. Una gran parte de la energía se convierte en energía térmica (calor). La cual es disipada por las paredes de la tubería por la cual circula el fluido. La cantidad de energía que se pierde depende de algunos factores como son: velocidad del flujo, tamaño de la tubería, acabado de la pared del tubo y la longitud de la tubería.

4.2.4.3. Accesorios.

Los elementos que controlan la dirección o el flujo volumétrico del fluido en el sistema generan turbulencia, lo que ocasiona que la energía se disipe como calor. Siempre que hay una restricción: por ejemplo, un cambio en la velocidad o dirección del flujo, hay pérdidas de este tipo. En sistemas grandes las pérdidas por válvulas y accesorios, por lo general es pequeña con pérdidas por fricción en las paredes de las tuberías. (Mott, 2006, pág. 202)

Por lo que se las conoce como pérdidas menores.

4.1.5. Ecuación general de la energía.

Partiremos de la ecuación Bernoulli la cual toma en cuenta tres energías como es la energía potencial, la energía cinética y la energía de flujo. Teniendo en cuenta estas tres energías la ecuación se la representa de la siguiente manera.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (6)$$

Donde:

- v = velocidad

Para la ecuación general de la energía se la toma como la extensión de la ecuación de Bernoulli, se hace una interpretación lógica de la ecuación de la energía. Donde los términos de E_1 y E_2 son las que denotan la energía que posee el fluido por unidad de peso en la sección 1 y 2, respectivamente. Por lo que la conservación de la energía queda expresada por la ecuación.

$$E_1 + h_A - h_R - h_L = E_2 \quad (7)$$

Donde:

- E = Energía
- h_A = Energía que se agrega al fluido
- h_R = Energía que se remueve del fluido
- h_L = Pérdidas de energía

Esta ecuación se la puede ir modificando de acuerdo a las variables que se necesite para el problema.

4.2. Bomba Barsha.

En el sentido más amplio del término, una bomba hidráulica es una máquina generadora que trabaja con un fluido incompresible en la que se produce una transformación de energía mecánica e hidráulica. Aquí nos centraremos básicamente en las bombas rotodinámicas y en las volumétricas, puesto que son las más usuales. (Heras, 2011)

Una bomba- Barsha es un dispositivo que transfiere agua desde una acequia, río, canal o vertiente hasta un determinado sitio.

4.2.1. Introducción a la bomba-Barsha.

Este tipo de bomba consiste principalmente de una rueda hidráulica que se coloca sobre una plataforma flotante, y utiliza la energía cinética del agua para bombearla a través de la manguera. Este invento consiste principalmente en una espiral de tal manera que al rotar

ingresa por la boca de manera alternada tramos de agua y aire. El aire es comprimido con el agua en cada espira y a la salida se obtiene una presión que logra elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire. (Echeverría, 2012), el funcionamiento se lo puede observar en la **Figura 3**.

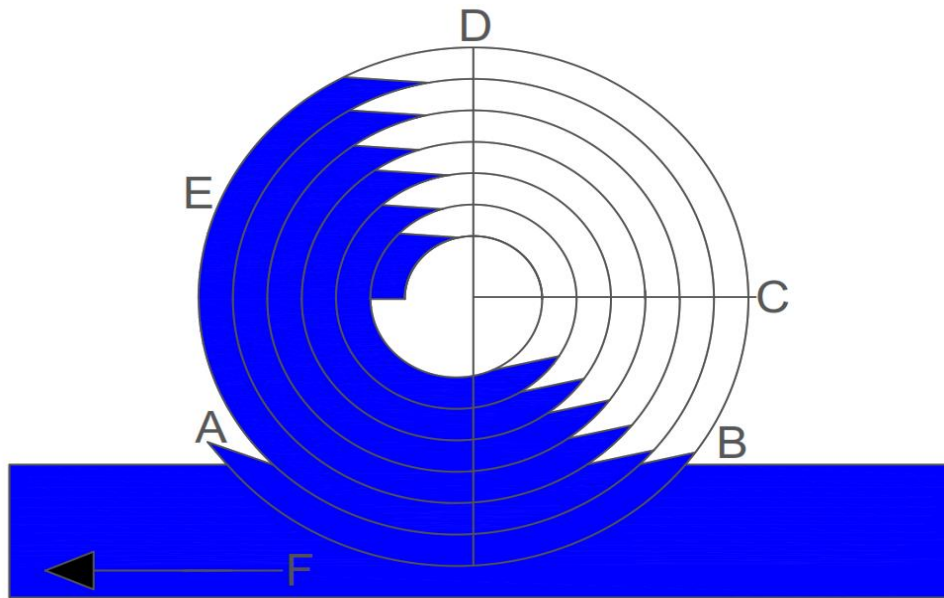


Figura 3: Espiral de la Bomba Barsha.
Fuente: Propio.

La bomba Barsha gira gracias al impulso del agua la cual empuja las paletas de la misma, de tal manera que utiliza la energía cinética del río, canal o acequia para poder funcionar. Una vez colocado correctamente este dispositivo, este tiene un funcionamiento autónomo.

4.2.2. Principio de funcionamiento de la bomba Barsha.

El funcionamiento de esta bomba se basa en un principio antiguo, como es el tornillo de Arquímedes y las norias hidráulicas, siendo también una parte fundamental la bomba de espiral ya que cuenta con el mismo principio de funcionamiento.

Para tener un funcionamiento adecuado de la bomba Barsha se debe cumplir las condiciones mínimas para el funcionamiento, las mismas que se detallan en la **tabla 1**.

Tabla 1

Condiciones para el funcionamiento.

Agua	0,3 m ³ /s
Velocidad	Canales: 0,8 m/s
	Ríos: 1 m/s
Anchura	1 metro en canales
Profundidad	30 centímetros

Fuente: Agro consultas.

4.2.3. Operación de la Bomba Barsha.

La Bomba Barsha al no ser un dispositivo complejo en su operación, no implica mayor complejidad para su funcionamiento.

Esta bomba puede ser colocada sobre un río, canal etc. La cual ésta apoyada sobre unos flotadores, por otra parte, las paletas se mueven por acción de la velocidad de la corriente del líquido. La bomba Barsha ésta formada por dos ruedas de espiral las cuales tienen un radio interior “ R_i ” y un radio exterior “ R_e ” las espiras se encuentran enrolladas sobre un eje horizontal. El R_e de la espiral está abierta, y se sumerge en el agua una vez por cada revolución, la cual se puede observar en la **Figura 3**. En una vuelta cuando se sumerge la boca de entrada de las espirales se llenan de agua y cuando emergen se llenan de aire, en cada revolución de las ruedas el aire atrapado en las espirales se comprime, de esta manera se va sumando una altura de presión que hace que el agua salga expulsada por el radio interior de las espirales.

Como se puede observar el funcionamiento es sencillo, siendo la parte más crítica la articulación giratoria que se necesita a la salida. Por qué la bomba sigue girando mientras que la manguera que recoge el agua permanece estática.

La Bomba Barsha se une a todos los componentes que la conforman mediante la estructura de soporte y hace de la bomba un solo componente. La bomba puede ser utilizada por cualquier persona común ya que solo cuenta con una sola parte móvil, y puede funcionar 24 horas diarias.

4.2.4. Partes y componentes de la Bomba Barsha.

La bomba ésta compuesta de los siguientes componentes:

- Espiras.
- Paletas.
- Sistema de flotación.
- Estructura.
- Manguera de descarga.
- Articulación Hidráulica.
- Boca de entrada.
- Radio de la estructura.
- Eje
- Acoplamiento rotativo

En la siguiente **Figura 4**. Se observa a detalle los componentes de la bomba Barsha.

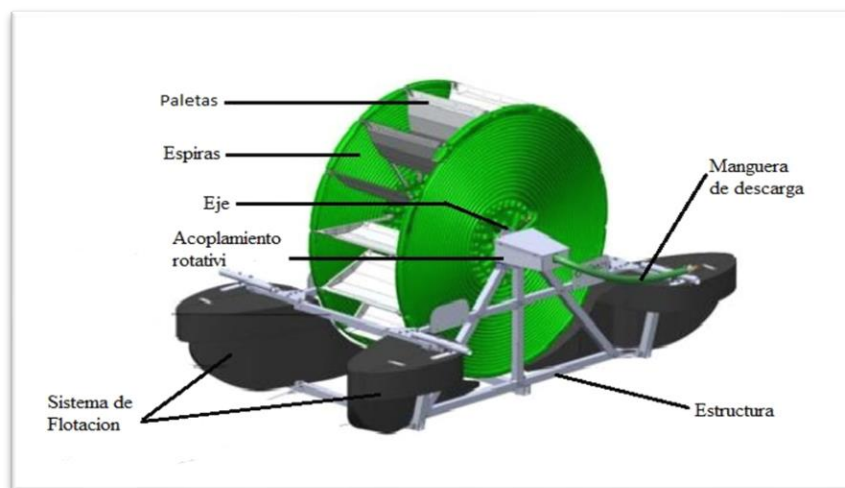


Figura 4: Componentes de la bomba.
Fuente: aQysta Barsha.

4.2.4.1. Espiras.

Está conformada por cada una de las vueltas de la manguera enrollada en forma de rueda, y son contadas a partir de la vuelta externa de la rueda hasta la interna, la cual mantiene un diámetro diferente al inicio de la toma de agua con su salida, siendo el diámetro mayor el externo y el diámetro menor el interno, en la **Figura 5**, se muestra el diseño de las espiras de la bomba.

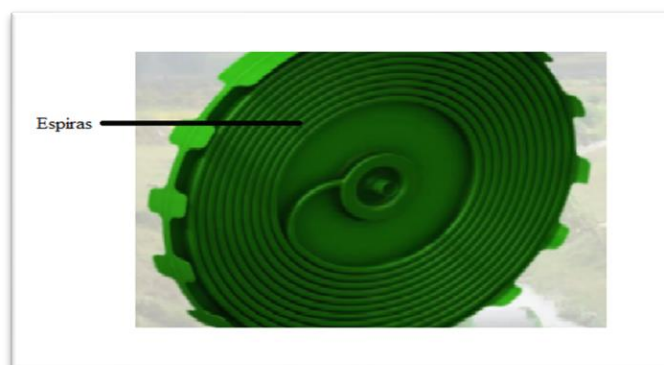


Figura 5: Espiras de la Bomba.
Fuente: Innovations / YouthLead.

4.2.4.2. Paletas.

Las paletas son las encargadas de recibir la fuerza del agua y así poder impulsar la rueda para que gire, es decir es la encargada de recibir la energía cinética del movimiento del agua y transformarla en movimiento circular, estas se encuentran distribuidas alrededor de las ruedas y se sumergen al agua conforme va girando la rueda. En la **Figura 6**, se muestran las paletas.

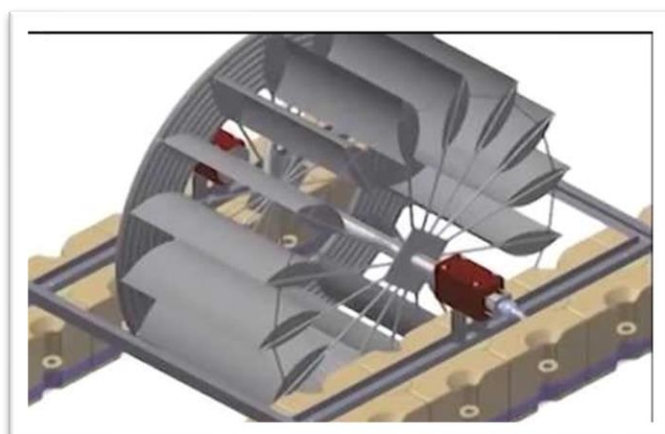


Figura 6: Se Muestra la distribución de las paletas.
Fuente: Barsha Bombas para riego / Bownlo.

4.2.4.3. Sistema de flotación.

La fuerza de flotación actúa en dirección vertical hacia arriba a través del centroide del volumen desplazado, y se define de forma matemática por medio del principio de Arquímedes. Cuando un cuerpo flota libremente desplaza el volumen suficiente de fluido para balancear su propio peso. El análisis de problemas que tiene que ver con flotación requiere que se aplique la ecuación de equilibrio estático en la dirección vertical, que supone que el objeto permanece en reposo en el fluido. “Un cuerpo en un fluido ya sea que flote o esté sumergido, experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del fluido que desplaza”. (Mott, 2006)

4.2.4.4. Estructura.

Es la encargada de soportar el peso de las espirales y paletas de la bomba, también es la que se encarga de unir todas las partes y piezas de la bomba para poder conformarla en una sola estructura. La estructura es la que va a soportar las cargas, en la **Figura 7**, se muestra la estructura de la bomba.

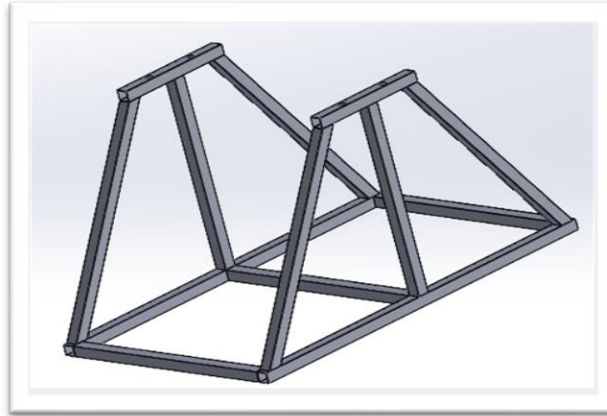


Figura 7: Estructura de la Bomba.
Fuente: aQysta

4.2.4.5. Manguera de descarga.

La manguera de descarga es la encargada de transportar el fluido de la articulación hidráulica de la bomba, hasta el lugar de descarga del fluido, esta manguera no tiene movimiento, es decir se encuentra fija, hasta el lugar de aprovechamiento del agua.

4.2.4.6. Articulación Hidráulica.

La articulación hidráulica es un dispositivo que se encuentra ubicado en el centro de la rueda, su función es unir las partes giratorias de las ruedas con la parte estática de la manguera de descarga también se debe tener en cuenta que en esa parte se encuentra la mayor cantidad de pérdidas de la bomba.

4.2.4.7. Boca de entrada.

Es la parte que se encuentra en el radio exterior de las espiras y tiene una abertura para el ingreso del agua y aire respectivamente que van alternándose con forme va girando la rueda, y se va sumergiendo en el agua. La boca de entrada del agua es de un diámetro mayor que las espiras, también es la encargada de tener un ingreso óptimo del agua.

Del mismo modo la boca de entrada puede ir variando de acuerdo con las características del río, canal, etc. Todo esto es para tener un mayor rendimiento de la bomba.

4.2.5. Bombas con similar principio de funcionamiento.

Las bombas que tienen el mismo principio de funcionamiento que la bomba Barsha son la bomba de tornillo, la bomba de espiras y la rueda hidráulica. Estas bombas se caracterizan por no usar electricidad ni derivados del petróleo a demás son amigables con el medio ambiente.

4.2.5.1. Bomba de tornillo.

La bomba de tornillo es una máquina gravimétrica helicoidal utilizada para la elevación de agua, fue inventada en el siglo III a. C. por Arquímedes, aunque existen hipótesis que fue utilizada en el antiguo Egipto. Esta Bomba consta de un cilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, y permite elevar el fluido situado por debajo del eje de giro. Desde su invención hasta nuestros días se ha empleado para el bombeo. También es conocida como tornillo sin fin por tener un circuito infinito.

4.2.5.2. Bomba de espiras.

La bomba de espiral fue inventada en 1746, por H.A Wirtz, quien tomó como referencia el tornillo de Arquímedes y la rueda persa, según la historia este invento, ha tomado distintos nombres tales como: Bomba de espiral, bomba de bobina, bomba manométrica, bomba Wirtz etc.

Este invento consiste principalmente de una manguera enrollada de tal manera que al rotar ingresan por la boca tramos de agua y aire. El aire es comprimido con el agua de cada espira y a la salida se obtiene una presión tal que logre elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire. (Echeverría, 2012)

Esta bomba logra girar gracias al empuje del agua ya que utiliza la energía cinética de un río o canal.

4.3. Selección de materiales para la bomba Barsha.

Son todas las partes que conforman la bomba Barsha, que uniendo cada una de sus partes forman una sola pieza, para soportar todas las cargas a las que han sido proyectadas, sin desplomarse.

4.3.1. Selección de materiales para la estructura.

La estructura para la Bomba Barsha es un conjunto de elementos resistentes para mantener la forma y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a los que ha de estar sometida.

Para poder tener un acierto en la estabilidad de la estructura de la bomba, es imprescindible entender el funcionamiento de la estructura, conocer la disposición estructural, las solicitaciones que le llegan y el material utilizado. La estructura, en su mayoría es de aluminio, este material se lo utiliza en la bomba Barsha por ser liviano y resistente.

4.3.2. Selección de materiales para las paletas.

El material que se utiliza en las paletas, para generar el movimiento generalmente es de plástico, acero negro o aluminio, ya que son materiales livianos y resistentes.

4.3.3. Selección de materiales para espiras.

El material que se utiliza generalmente para las espirales de la bomba Barsha es plástico o manguera de riego.

4.3.4. Selección de materiales para el sistema de flotación.

En los modelos ya construidos de la bomba Barsha se ha utilizado fibra de vidrio para la elaboración del sistema de flotación

4.3.5. Selección del material para el sistema de entrada de agua.

Para la entrada de agua o boca de entrada de la bomba Barsha se utiliza el mismo material que en las espiras, con la diferencia que tiene un diámetro mayor al diámetro de las espirales. Siendo de suma importancia ya que es por donde ingresa el agua y el aire alternadamente, para la bomba.

4.3.6. Selección del material para la descarga.

Para el material de descarga se utiliza manguera de riego común, solo se tiene que tener en cuenta el diámetro de salida de la bomba, ya que es la encargada de llevar el agua desde la articulación hidráulica hasta el punto de almacenamiento del líquido.

4.4. Criterios de diseño de la Bomba-Barsha.

La bomba Barsha debe ser diseñada para tres situaciones distintas que se puedan presentar para su funcionamiento, como es para canal, río poco profundo y río profundo, En la **tabla 2**. Se detalla las dimensiones y el peso.

Tabla 2*Dimensiones y peso.*

		Largo	Ancho (sin manijas instaladas)	Alto	Peso
Canal	Estrecho	1785mm	1440mm/1840mm	1500mm	75kg
	Amplio	1785mm	1640mm/2040mm	1500mm	80kg
Río poco profundo	Estrecho	1785mm	1440mm/1840mm	1590mm	80kg
	Amplio	1785mm	1640mm/2040mm	1590mm	85kg
Río Profundo	Estrecho	2800mm	1550mm/1840mm	1590mm	92kg
	Amplio	2800mm	1750mm/2040mm	1590mm	97kg

Fuente: AQT.

Con los datos descritos en la **tabla 2**. Se puede seleccionar el alto de la bomba de acuerdo a las especificaciones del lugar.

4.4.1. Proceso de diseño de una bomba Barsha.

4.4.1.1. Parámetro de diseño de las paletas.

Para el diseño de las paletas se debe tener en cuenta la velocidad del líquido, el radio exterior de las espirales de la bomba Barsha, también se debe tener en cuenta la fuerza que debe soportar las paletas de la bomba, por lo que “La potencia entregada por un torque en el movimiento de rotación es igual al producto del torque por la velocidad angular” (Pineda, 2011, pág. 35). Se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$P_o = M_t * \omega \quad (8)$$

También la potencia en fluidos se la define como la rapidez que se transfiere la energía. (Mott, 2006). Y se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$P_o = \gamma_{\text{agua}} QH \quad (9)$$

Donde:

- γ_{agua} = Peso específico del agua
- Q = Caudal
- H = Altura de descarga del agua

Para el cálculo del caudal que circula se aplica la siguiente formula. (Mott, 2006)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (10)$$

Al caudal se lo puede expresar también en términos del área y la velocidad y resulta la siguiente ecuación.

$$Q = vA \quad (11)$$

Otra de las partes importantes que hay que tener en cuenta es el momento torsor, para calcularlo se aplica la siguiente ecuación.

$$M_t = F * R \quad (12)$$

Donde:

- M_t = Momento torsor
- R = Radio

4.4.1.2. Parámetro de diseño de la estructura.

Es la parte que soporta las espirales, cuya función es mantener unido todos los componentes de la bomba en un solo conjunto.

4.4.1.3. Parámetro de diseño del mecanismo de acople con la tubería de descarga.

El accesorio giratorio, aunque es fácil de fabricar, es la parte crítica de la bomba Barsha. Donde debe tener un sello impermeable para evitar la pérdida del fluido y la presión en la salida de la bomba a la manguera de descarga. Para su diseño se tendrá que tener en cuenta varias alternativas, ya que es la parte donde cambia de un estado giratorio de las ruedas de la bomba a un estado estático que es la manguera de descarga o la salida. Para ello se tomará como referencia la rueda de espiral que tiene un similar diseño en este mecanismo.

4.4.1.4. Diseño de las ruedas espirales.

Para el diseño de las ruedas de espiral se tendrá en cuenta el radio exterior R_e y el radio interior R_i , los radios serán de acuerdo al criterio del diseñador, también se debe tener en cuenta el número de espirales para el cual se aplicará la siguiente ecuación. (Aguirre)

$$N_e = \frac{R_e - R_i}{h_p} \quad (13)$$

Donde:

- N_e = Número de espiras
- R_e = Radio exterior
- R_i = Radio interior
- h_p = Paso constante

Además, es importante saber la longitud de las espirales, se la calcula con la siguiente ecuación. (Aguirre)

$$L_e = 2N_e \pi R_m \quad (14)$$

Donde:

- L_e = Longitud lineal de la espiral
- R_m = Radio medio

Para el cálculo del radio medio se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$R_m = \frac{R_e + R_i}{2} \quad (15)$$

Otra de las partes importantes es la velocidad lineal de las espirales de la bomba, esta velocidad es la del río con la que hace girar las espirales, así mismo se debe tener en cuenta que la velocidad mínima del río debe ser de 0,8 m/s, esta velocidad es la más crítica que se la puede tomar hacia la bomba. La velocidad lineal se expresa por la siguiente ecuación.

$$v = \frac{L_e}{t} \quad (16)$$

Donde:

- t = Es el tiempo
- v = Velocidad lineal

Igualmente se debe tener en cuenta la velocidad angular de las espirales de la Bomba Barsha, la cual se la expresa mediante la siguiente ecuación.

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (17)$$

Donde:

- ω = Velocidad angular

Otro de los factores a tener en cuenta son los rpm de la bomba Barsha y está representada por la siguiente ecuación.

$$n = \frac{30\omega}{\pi} \quad (18)$$

4.4.2 Cálculo del diámetro del eje.

Consiste básicamente en determinar el diámetro correcto para asegurar la rigidez y resistencia cuando el eje transmita potencia en diferentes condiciones de carga y operación.

Generalmente los ejes están sometidos a torsión, flexión y cargas axiales. Para ello se aplicará la ecuación del código ASME, para un eje hueco.

$$d_{\text{eje}} = \sqrt[3]{\frac{16n_s}{\pi\sigma_y(1-K^4)} \sqrt{\left(k_b Mf_{\text{max}} + \frac{\alpha F_a d_e (1+K^2)}{2}\right)^2 + (k_t M_t)^2}} \quad (19)$$

Donde:

- d_{eje} = Diámetro del eje
- Mf_{max} = Momento flector máximo
- M_t = Momento torsor
- σ_y = Esfuerzo a la fluencia del material
- n_s = Factor de seguridad
- k_b = Factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector.
- k_t = Factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión.
- k = Relación entre los diámetros

Al no existir una carga axial en el eje de la bomba la ecuación resulta.

$$d_{\text{eje}} = \sqrt[3]{\frac{16n_s}{\pi\sigma_y(1 - k^4)} \sqrt{(k_b M f_{\text{max}})^2 + (k_t M t)^2}} \quad (20)$$

4.4.3. Diseño del eje de la bomba Barsha.

Las fuerzas que se intercambian entre el agua y las paletas, son transmitidas directamente al eje de la bomba en forma de empuje y torque, teniendo estas dos fuerzas en cuenta se procede al diseño del eje.

“Los ejes son elementos para transmitir potencia, la mayoría de los ejes están sometidos durante su trabajo a cargas combinadas de torsión, flexibilidad y cargas axiales” (Diseño de elementos de máquinas 1, 2013). Se debe tener en cuenta que el eje debe ser hueco y en el diseño se tendrá algunas consideraciones.

Con el fin de comprobar la resistencia de un elemento separado cerca del punto más peligroso se debe utilizar la siguiente formula. (G. S. PisarenKo)

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (21)$$

Donde:

- σ_{eq} = Tensión equivalente
- σ = Esfuerzo de flexión
- τ = Esfuerzo cortante de torsión

Para poder calcular la tensión equivalente en el eje se calcula el módulo de la sección para un eje hueco que tiene un diámetro (d_i y d_e) viene dado por la ecuación. (G. S. PisarenKo)

$$w = 0,1d_e^3(1 - \alpha^4) \quad (22)$$

Donde:

- w = Módulo de la sección
- d_e = Diámetro exterior del eje
- d_i = Diámetro interior del eje

Para calcular la relación existente entre los diámetros del eje.

$$\alpha = \frac{d_i}{d_e} \quad (23)$$

También se debe calcular el módulo polar de la sección que viene dado por la siguiente ecuación.

$$w_p = 0,2d_e^3(1 - \alpha^4) \quad (24)$$

Donde:

- w_p = Módulo polar de la sección

Para el cálculo del esfuerzo de flexión se aplica la siguiente formula.

$$\sigma = \frac{M_{fmax}}{w} \quad (25)$$

Donde:

- M_{fmax} = Momento flector maximo

De igual forma para el cálculo del esfuerzo torsor se aplica la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{M_t}{w_p} \quad (26)$$

4.4.4. Selección de los rodamientos.

Para esta parte se tomará dos chumaceras las cuales se las seleccionará de un catálogo FAG, de acuerdo a los cálculos obtenidos del eje de la bomba, para calcular la carga dinámica equivalente se utiliza la siguiente formula. (Rodamientos, 1999)

$$P_c = \frac{P_d}{2} * f_s \quad (27)$$

Donde:

- P_c = Carga dinamica equivalente
- P_d = Fuerza máxima corregida
- f_s = Factor de esfuerzo estático

Para calcular el factor de velocidad(f_n) se realiza mediante la ecuación siguiente.

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}} \quad (28)$$

Donde:

- f_n = Factor de velocidad
- p = Factor exponencial
- n = Número de revoluciones por minuto

Para calcular la capacidad de carga que soportará un rodamiento en su vida útil se aplica la ecuación siguiente.

$$C = \frac{P_c}{f_n} * f_l \quad (29)$$

Donde:

- C = Capacidad de carga
- f_l = Factor de esfuerzos dinámicos

4.5. Experiencias referenciadas sobre la construcción y funcionamiento de la bomba Barsha.

4.5.1. Descripción de modelos ya construidos.

En la actualidad existen 6 diferentes configuraciones de la bomba Barsha. Las cuales están diseñadas para canales, río poco profundo, y río profundo.

La versión para canales solo se incluye el marco de la estructura y se tiene dos tipos de bombas para canales que son estrechos y para canales amplios. Se puede ver en la **Figura 8**.

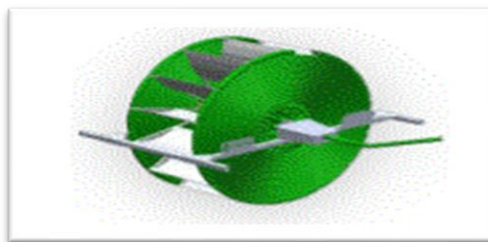


Figura 8: Versión para canales.
Fuente: AQT

Esta versión es para canales de riego, y se detallara las condiciones para su uso en la **tabla 3**.

Tabla 3

Versión para canales.

Versión para canales	
Versión de canal-Estrecho	Versión de canal-Amplio
Cuerpo rotatorio con paletas de 550mm	Cuerpo rotatorio con paletas de 750mm
Para canales con flujo rápido con dimensiones de 650-900mm de ancho	Para canales con flujo rápido con dimensiones de 850-1100mm de ancho

Fuente: AQT.

La siguiente versión es para ríos poco profundos y existen dos tipos: para ríos poco profundos estrechos y ríos poco profundos amplios, en este tipo de ríos la bomba no necesita flotar por lo que solo se la instala con el marco de la estructura como se muestra en la siguiente **Figura 9**.

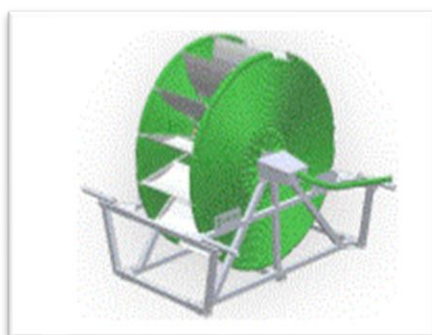


Figura 9: Versión para ríos poco profundos.

Fuente: AQT.

En la versión para ríos poco profundos se detalla las condiciones que se debe tener en la **tabla 4**.

Tabla 4

Versión para ríos poco profundos.

Versión para ríos poco profundos	
Versión de ríos-Estrecho	Versión de ríos-Amplio
Cuerpo rotatorio con paletas de 550mm	Cuerpo rotatorio con paletas de 750mm
Para ríos/canales con dimensiones de ≥ 1450 mm de ancho y una velocidad ≈ 1.3 m/s	Ideal para ríos/canales con flujo lento con un ancho ≥ 1650 mm y una velocidad de flujo ≈ 1.1 m/s

Fuente: AQT.

La última versión es para ríos profundos el cual incluye un marco estructural y flotadores integrados, además tiene incorporado la línea de anclaje, que ayuda a mantener a la bomba en su lugar, a esta versión se la puede ver en la **Figura 10**.

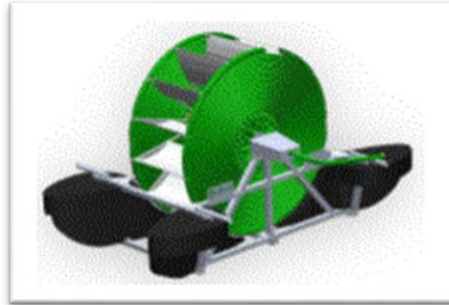


Figura 10: Versión para ríos profundos.
Fuente: AQT.

Para la versión de ríos profundos en la **tabla 5**. Se detalla las condiciones que se debe tener para el funcionamiento de la bomba.

Tabla 5

Versión para ríos profundos.

Versión para ríos profundos	
Versión de ríos-Estrecho	Versión de ríos-Amplio
Cuerpo rotatorio con paletas de 550mm Para ríos/canales con dimensiones de \geq 1450mm de ancho y una velocidad \approx 1.3 m/s	Cuerpo rotatorio con paletas de 750mm Ideal para ríos/canales con flujo lento con un ancho \geq 1650mm y una velocidad de flujo \approx 1.1 m/s

Fuente: AQT.

De la **tabla 4**, se puede observar que son las mismas condiciones que la **Figura 9**. Estas versiones de la bomba incluyen flotadores. A demás esta versión puede acoplarse a canales de riego amplios y que sean profundos.

4.5.2. Eficiencia de los modelos ya construidos.

Para este tipo de bombas la eficiencia máxima que puede alcanzar se la puede observar en la **tabla 6**.

Tabla 6*Eficiencia de la bomba.*

Máxima eficiencia de la Bomba Barsha		
Máximo bombeo vertical (para lugares con elevación empinada/con Aero transporte)	Presión de bombeo entregada	Flujo de bombeo entregado
20m	1.5bar	40m ³ /día

Fuente: AQT:

Estos valores que se tienen en la **tabla 6**, son comprobados por los fabricantes de la bomba Barsha, también se debe tener en cuenta que los valores máximos no pueden ser alcanzados al mismo tiempo, y la eficiencia se ve reducida por varias pérdidas que hay en la bomba y en su transporte estas pérdidas reducen la eficiencia de la bomba, pero también se tiene en cuenta que estas pérdidas de flujo son bastante pequeñas, una de las maneras para poder calcular la eficiencia se la expresa mediante la ecuación 28.

$$\eta = \frac{P_{o \text{ salida}}}{P_{o \text{ entrada}}} \quad (30)$$

Donde:

- η = Rendimiento

Mediante esta expresión se puede calcular el rendimiento que tendrá la bomba Barsha.

4.5.3. Descripción de los costos de modelos ya construidos.

El costo de cada unidad de la bomba Barsha es de acuerdo a cada modelo de bomba y es diferente para cada uno de los modelos, para una versión de bomba para canales, el precio unitario es de €899. Mientras si se desea una versión para ríos poco profundos el costo por cada unidad de la bomba es de €1019. En cambio, si se desea una versión de bomba para ríos profundos el costo de cada unidad de bomba es de €1139. Esta información es tomada directamente de la empresa aQysta, que facilitó esta información de los costos actuales de la bomba Barsha.

4.6. Conclusiones de la revisión de literatura.

De acuerdo a los documentos obtenidos y posteriormente revisados, se puede concluir que cada uno de ellos ha sido de gran aporte para el diseño y construcción del prototipo de bomba Barsha.

- Se logró obtener la mayor cantidad de información, de libros, revistas y fuentes confiables de internet que sirvió para la realización del proyecto.
- Con la documentación obtenida se logró sacar la información necesaria de cada uno.

4.6.1. Resumen de la revisión de literatura

La bomba Barsha es una nueva tecnología en el riego, hidro-propulsada cuyo funcionamiento se debe exclusivamente al flujo de los ríos y canales; por ende, no requiere ningún tipo de combustibles o electricidad para su operación.

Dicha bomba es un producto eficiente, la propuesta fundamentada es de costo de operación cero, fácil montaje y desmontaje y un diseño amigable con el usuario y cero emisiones.

Para este tipo de bomba existen seis configuraciones conocidas, 2 versiones para canales, 2 versiones para ríos poco profundos, y 2 versiones para ríos profundos.

La bomba tiene una máxima altura de bombeo de 20m, y un flujo de líquido entregado de 40m³/día.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Materiales

En el presente proyecto se empleará los siguientes recursos y materiales:

- Recursos humanos:
 - Director del proyecto de tesis.
 - Técnico en fabricación de máquinas.

- Recursos bibliográficos:
 - Libros de diseño mecánico.
 - Libros de resistencia de materiales.
 - Catálogos de la bomba Barsha.
 - Catálogo de bombas con el mismo principio de funcionamiento.
 - Catálogos de rodamiento.
 - Libros de mecánica de fluidos.

- Recursos de oficina:
 - Equipos y complementos computacionales.
 - Softwares:
 - ❖ AutoCAD®.
 - ❖ SolidWorks®.
 - ❖ Paquete Office®.

5.2. Métodos

Los temas principales a tratarse son:

- Elementos de máquinas.
- Selección de materiales para la bomba.
- Diseño de los mecanismos que conformaran la bomba.
- Selección del material para el eje.
- Construcción de la bomba.
- Selección de rodamientos.
- Pruebas del dispositivo.

Para el diseño de la rueda de espiral se la realizo para validar propuestas o sugerencias establecidas por la empresa aQysta, para lo cual se considera algunos valores que han sido recomendados por fabricantes como es el radio exterior R_e y el radio interior R_i , otro de los valores que se escogió es el diámetro interior de la manguera que es de 1,25 pulgadas (32mm) y el diámetro exterior de la manguera (40mm) para distancias menores a 200m. La espiral se muestra en la **Figura 11**.

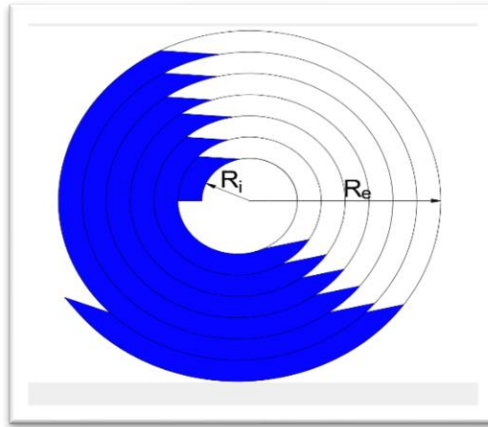


Figura 11: Espiral de la Bomba Barsha.
Fuente: Propio.

La manguera seleccionada para las espirales existe en el mercado local (Anexo 1)

$$R_e = 0,75\text{m}$$

$$R_i = 0,20\text{m}$$

$$h_p = D_{\text{manguera}} = 0,04\text{m}$$

Cálculo del número de espiras.

$$N_e = \frac{R_e - R_i}{h_p}$$

$$N_e = \frac{0,75\text{m} - 0,20\text{m}}{0,04\text{m}}$$

$$N_e = 13,75$$

Cálculo del radio medio.

$$R_m = \frac{R_e + R_i}{2}$$

$$R_m = \frac{0,75\text{m} + 0,20\text{m}}{2}$$

$$R_m = 0,475\text{m}$$

Cálculo de la longitud de las espirales.

$$L_e = 2N_e \pi R_m$$

$$L_e = 2(13,75)(\pi)(0,475\text{m})$$

$$L_e = 41,0371 \text{ [m]}$$

Para calcular el peso de la manguera de la espiral.

Manguera de polietileno PE de media densidad (PEMD), son tuberías con propiedades mejoradas, que incluyen vida, flexibilidad, ductilidad, resistencia al crecimiento lento de grietas y resistencia a la propagación de grietas. Por estas características se escogió el (PEMD).

$$\rho_{\text{polietileno}} = 0,940 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$D_{i\text{manguera}} = 32,4 \text{ [mm]}$$

$$D_{e\text{manguera}} = 40 \text{ [mm]}$$

Volumen de la Manguera.

$$V_{\text{manguera}} = \pi \left(\frac{D_{e\text{manguera}}^2}{4} - \frac{D_{i\text{manguera}}^2}{4} \right) L_e$$

$$V_{\text{manguera}} = \pi \left(\frac{(0,04\text{m})^2}{4} - \frac{(0,0324\text{m})^2}{4} \right) (41,0371\text{m})$$

$$V_{\text{manguera}} = 0,017734 \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo de la masa de la manguera de la espiral.

$$m_{\text{manguera}} = \rho_{\text{polietileno}} V_{\text{manguera}}$$

$$m_{\text{manguera}} = \left(940 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (0,017734\text{m}^3)$$

$$m_{\text{manguera}} = 16,67 \text{ [kg]}$$

Cálculo del peso de la manguera.

$$W_{\text{manguera}} = m_{\text{manguera}} g$$

$$W_{\text{manguera}} = (16,67\text{kg}) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_{\text{manguera}} = 163,481 \text{ [N]}$$

Cálculo del peso de las paletas.

La paleta se la puede observar en la **Figura 12**.

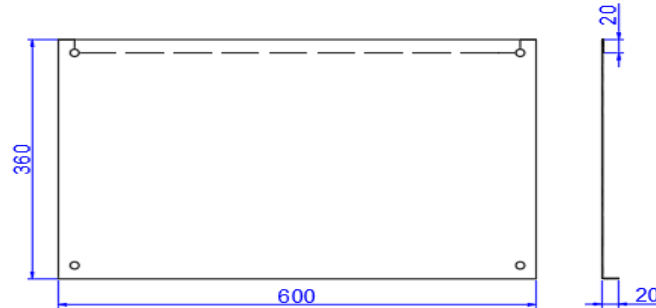


Figura 12: Paleta.
Fuente. Propio.

Para el diseño de las paletas de la bomba Barsha se utilizó una plancha de acero negro de 0,9mm de espesor, recomendado en catálogos, donde e_{acn} es el espesor, a es el largo y b es el ancho del acero y n representa el número de paletas. Para las medidas comerciales de la plancha ver Anexo 2. Las medidas de la plancha se representan en la **Figura 12**.

$$\rho_{acn} = 7850 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$n_{paletas} = 12$$

$$e_{acn} = 0,9 \text{ [mm]}$$

$$a = 600 \text{ [mm]}$$

$$b = 400 \text{ [mm]}$$

Cálculo del volumen del acero negro.

$$V_{acn} = abe_{acn}$$

$$V_{acn} = (0,6\text{m})(0,4\text{m})(9 \times 10^{-4}\text{m})$$

$$V_{acn} = 2,16 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo de la masa del acero negro.

$$m_{acn} = n_{paletas} \rho_{acn} V_{acn}$$

$$m_{\text{acn}} = (12)(7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(2,16 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{acn}} = 20,3472 \text{ [kg]}$$

Cálculo del peso del acero negro.

$$W_{\text{acn}} = m_{\text{acn}}g$$

$$W_{\text{acn}} = (20,3472 \text{ kg})(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_{\text{acn}} = 199,6060 \text{ [N]}$$

Para calcular el volumen de agua y aire que ingresan en la espiral.

En la **Figura 13**. Se ilustra los distintos parámetros que conforman la rueda espiral donde R_i radio interior, R_e radio exterior, R_p radio primitivo, h profundidad sumergida de la espiral y s es la longitud del arco sumergido, $h = 30\text{cm}$

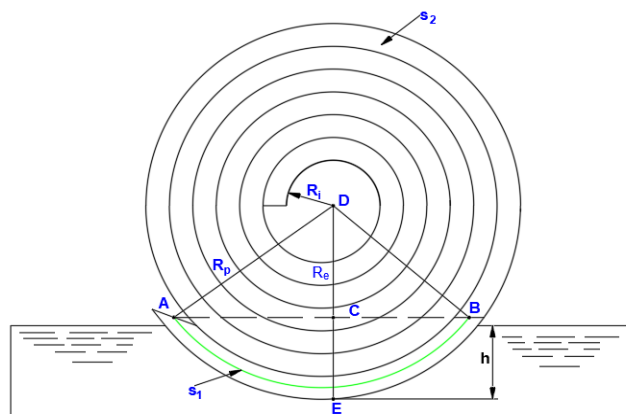


Figura 13: Espiral de la bomba Barsha.

Fuente: Propio.

De la **Figura 13**, se obtiene los siguientes cálculos.

Cálculo del radio primitivo.

$$R_p = R_e - R_{i\text{manguera}}$$

$$R_p = 0,75\text{m} - \frac{0,0324\text{m}}{2}$$

$$R_p = 0,734 \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia DC.

$$DC = R_e - h$$

$$DC = 0,75\text{m} - 0,30\text{m}$$

$$DC = 0,45 \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia AC.

$$AC = \sqrt{(R_p)^2 - (DC)^2}$$

$$AC = \sqrt{(0,734\text{m})^2 - (0,45\text{m})^2}$$

$$AC = 0,57962 \text{ [m]}$$

Para el cálculo de los ángulos que se encuentran en la espiral se muestran en la **Figura 14**.

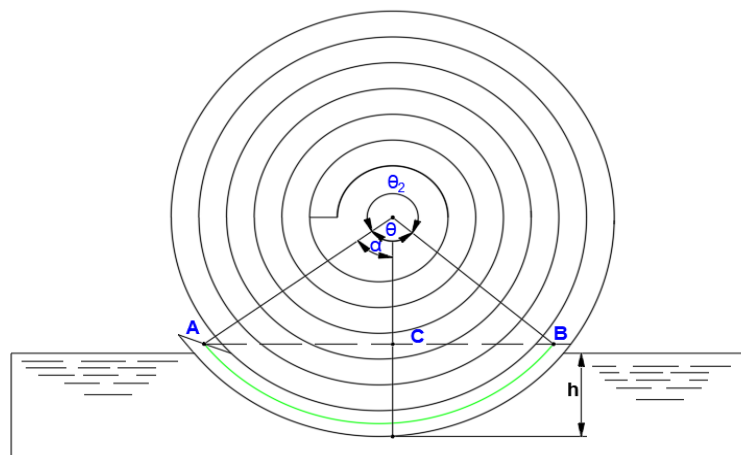


Figura 14: Ángulos de la espiral.
Fuente: Propio.

De la **Figura 14**, se calcula el ángulo α .

$$\tan\alpha = \frac{AC}{DC}$$

$$\tan\alpha = \frac{0,57962\text{m}}{0,45}$$

$$\alpha = 52,175^\circ$$

De la **Figura 14** se calcula el valor del ángulo θ que es dos veces el ángulo α .

$$\theta = 2\alpha$$

$$\theta = 2(52,175^\circ)$$

$$\theta = 104,351^\circ$$

$$\theta = 1,821 \text{ [rad]}$$

De la **Figura 14** se calcula el ángulo θ_2

$$\theta_2 = 360^\circ - \theta$$

$$\theta_2 = 360^\circ - 104,351^\circ$$

$$\theta_2 = 255,649^\circ$$

$$\theta_2 = 4,462 \text{ [rad]}$$

Cálculo de la longitud del arco sumergido en el agua s_1 .

Ver la **Figura 13**.

$$s_1 = R_p \theta$$

$$s_1 = (0,734\text{m})(1,821\text{rad})$$

$$s_1 = 1,336 \text{ [m]}$$

Cálculo de la longitud del arco lleno de aire s_2 .

Ver la **Figura 13**.

$$s_2 = R_p \theta_2$$

$$s_2 = (0,734\text{m})(4,462\text{rad})$$

$$s_2 = 3,274 \text{ [m]}$$

Cálculo de la longitud de arco total s_t .

$$s_t = s_1 + s_2$$

$$s_t = 1,336\text{m} + 3,274\text{m}$$

$$s_t = 4,611 \text{ [m]}$$

Para poder calcular la longitud total que ocuparía el líquido y el aire en la espiral de la bomba, se divide la longitud lineal de la espiral (L_e) para la longitud total del arco (S_t). Con ello se saca una constante K.

$$K = \frac{L_e}{s_t}$$

$$K = \frac{41.0371\text{m}}{4,611\text{m}}$$

$$K = 8,901$$

Cálculo de la longitud total que ocupa el agua en la espiral.

$$L_{t_{\text{agua}}} = Ks_1$$

$$L_{t_{\text{agua}}} = (8,901)(1,336\text{m})$$

$$L_{t_{\text{agua}}} = 11,895 \text{ [m]}$$

Cálculo de la longitud total ocupa el aire en la espiral.

$$L_{t_{\text{aire}}} = Ks_2$$

$$L_{t_{\text{aire}}} = (8,901)(3,274\text{m})$$

$$L_{t_{\text{aire}}} = 29,142 \text{ [m]}$$

Cálculo del volumen del agua en la espiral.

$$V_{\text{agua}} = \frac{\pi D_{\text{manguera}}^2}{4} L_{\text{tagua}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{\pi(0,0324\text{m})^2}{4} (11,895\text{m})$$

$$V_{\text{agua}} = 9,807 \times 10^{-3} [\text{m}^3]$$

Cálculo de la masa del agua en la espiral.

$$m_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} V_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua}} = (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9,807 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{agua}} = 9,807 [\text{kg}]$$

Cálculo del peso del agua en la espiral.

$$W_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} g$$

$$W_{\text{agua}} = (9,807 \text{kg})(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_{\text{agua}} = 96,177 [\text{N}]$$

Cálculo del volumen del aire en la espiral.

$$V_{\text{aire}} = \frac{\pi D_{\text{manguera}}^2}{4} L_{\text{t aire}}$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{\pi(0,0324\text{m})^2}{4} (29,142\text{m})$$

$$V_{\text{aire}} = 0,024 [\text{m}^3]$$

Cálculo de la masa del aire en la espiral.

$$m_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} V_{\text{aire}}$$

$$m_{\text{aire}} = (1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(0,024\text{m}^3)$$

$$m_{\text{aire}} = 0,029 \text{ [kg]}$$

Cálculo del peso del aire en la espiral.

$$W_{\text{aire}} = m_{\text{aire}}g$$

$$W_{\text{aire}} = (0,029\text{kg})(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_{\text{aire}} = 0,289 \text{ [N]}$$

Cálculo del peso de la arandela de sujeción de las espirales que se muestra en la **Figura 15**.

Las medidas comerciales de la plancha antideslizante ver Anexo 3.

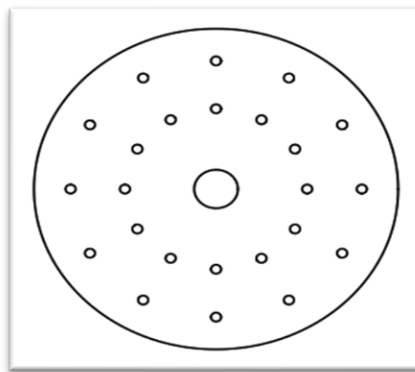


Figura 15: Arandela de sujeción.
Fuente: Propio.

Cálculo del volumen de los agujeros perforados.

$$n_{\text{agujeros}} = 24$$

$$\phi_{\text{agujeros}} = 0,011\text{m}$$

$$e_{\text{disco}} = 0,003\text{m}$$

$$A_{\text{agujero}} = \frac{\pi\phi_{\text{agujero}}^2}{4}$$

$$A_{\text{agujero}} = \frac{\pi(0,011\text{m})^2}{4}$$

$$A_{\text{agujero}} = 9,5033 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]}$$

El área total que ocupan los agujeros se multiplica el A_{agujero} por n_{agujeros} , con ello se obtiene el área total que ocupan los agujeros en el disco.

$$A_{\text{Tagujeros}} = n_{\text{agujeros}} * A_{\text{agujero}}$$

$$A_{\text{Tagujeros}} = 24(9,5033 \times 10^{-5} \text{ m}^2)$$

$$A_{\text{Tagujeros}} = 2,2807 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

Para el cálculo del volumen que ocupan las perforaciones en el disco se debe multiplicar $A_{\text{Tagujeros}}$ por el espesor del disco.

$$V_{\text{agujeros}} = A_{\text{Tagujeros}} * e_{\text{disco}}$$

$$V_{\text{agujeros}} = (2,2807 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(0,003\text{m})$$

$$V_{\text{agujeros}} = 6,8421 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo del Volumen interior del disco de soporte de las espirales siendo \emptyset_i el diámetro interior del disco.

$$\emptyset_i = 0,047\text{m}$$

$$V_i = \frac{\pi \emptyset_i^2}{4} * e_{\text{disco}}$$

$$V_i = \frac{\pi(0,047\text{m})^2}{4} (0,003\text{m})$$

$$V_i = 5,2048 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo del volumen exterior del disco de soporte de la espiral donde \emptyset_e es el diámetro exterior.

$$\phi_e = 0,40\text{m}$$

$$V_e = \frac{\pi(0,4\text{m})^2}{4} (0,003\text{m})$$

$$V_e = 3,7699 \times 10^{-4} [\text{m}^3]$$

Cálculo del volumen total del disco de soporte de la espiral de la bomba Barsha.

$$V_{\text{Tdisco}} = V_e - V_i - V_{\text{agujeros}}$$

$$V_{\text{Tdisco}} = 3,7699 \times 10^{-4} \text{ m}^3 - 5,2048 \times 10^{-6} \text{ m}^3 - 6,8421 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Tdisco}} = 3,6494 \times 10^{-4} [\text{m}^3]$$

Cálculo de la masa del disco para lo cual se utilizará la densidad del acero negro y el volumen total de disco.

$$m_{\text{disco}} = \rho_{\text{acn}} * V_{\text{Tdisco}}$$

$$m_{\text{disco}} = (7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})(3,6494 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$m_{\text{disco}} = 2,8648 [\text{Kg}]$$

Cálculo del peso del disco.

$$W_{\text{disco}} = m_{\text{disco}} * g$$

$$W_{\text{disco}} = (2,8648 \text{ Kg})(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$W_{\text{disco}} = 28,1037 [\text{N}]$$

Cálculo de la varilla que une el disco con la espiral.

En la **Figura 16**, se muestra la varilla como se encuentra diseñada. Las medidas comerciales que se encuentran en el mercado ver Anexo 4.

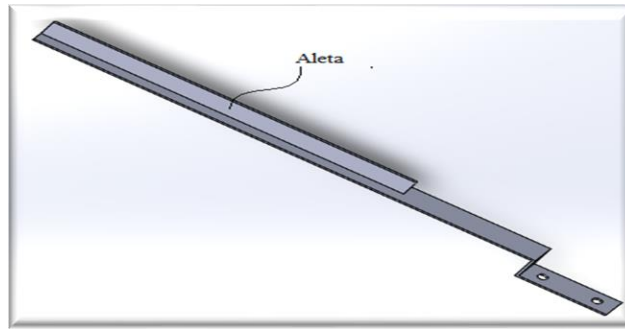


Figura 16: Varilla.
Fuente: Propio.

La varilla es la que se une con el disco, la cual se unen mediante tornillos y forman un solo conjunto. En la **Figura 17**, se muestran las medidas de la varilla.

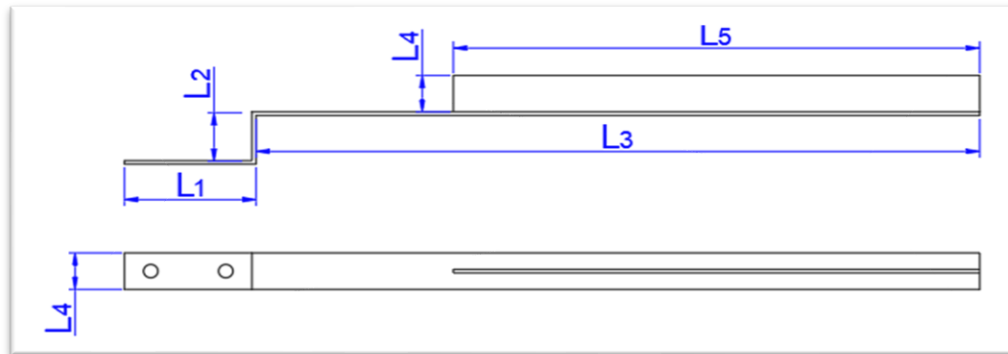


Figura 17: Varilla de soporte.
Fuente: Propio.

$$L_1 = 0,10\text{m}$$

$$L_2 = 0,04\text{m}$$

$$L_3 = 0,55\text{m}$$

$$L_4 = 0,03\text{m}$$

$$L_5 = 0,4\text{m}$$

$$e_{\text{varilla}} = 0,003\text{m}$$

Para obtener la longitud total de la varilla se suma las tres longitudes.

$$L_{\text{Tvarilla}} = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_{\text{Tvarilla}} = 0,10\text{m} + 0,04\text{m} + 0,55\text{m}$$

$$L_{\text{Tvarilla}} = 0,69 \text{ [m]}$$

Cálculo del volumen de la varilla.

$$V_{\text{varilla}} = L_{T\text{varilla}} * L_4 * e_{\text{varilla}}$$

$$V_{\text{varilla}} = (0,69\text{m})(0,03\text{m})(0,003\text{m})$$

$$V_{\text{varilla}} = 6,21 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo de la masa de la varilla para ello se utilizará la densidad del acero negro.

$$\rho_{\text{acn}} = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{varilla}} = \rho_{\text{acn}} * V_{\text{varilla}}$$

$$m_{\text{varilla}} = (7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})(6,21 \times 10^{-5} \text{m}^3)$$

$$m_{\text{varilla}} = 0,4875 \text{ [Kg]}$$

Las varillas para sujetar las espirales son 12 por lo que para obtener el peso total se debe multiplicar por este valor.

$$w_{\text{varilla}} = 12m_{\text{varilla}} * g$$

$$w_{\text{varilla}} = 12(0,4875 \text{ Kg})(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

$$w_{\text{varilla}} = 57,3885 \text{ [N]}$$

Se la puede observar en la **Figura 17**. Para el cálculo de la aleta de la varilla para sujetar las paletas de la bomba Barsha, se calculará el volumen de la aleta.

$$L_5 = 0,4\text{m}$$

$$V_{\text{aleta}} = L_5 * L_4 * e_{\text{varilla}}$$

$$V_{\text{aleta}} = (0,4\text{m})(0,03\text{m})(0,003\text{m})$$

$$V_{\text{aleta}} = 3,6 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

Para poder calcular el peso de las aletas (**Figura 17**) de la varilla se debe multiplicar por 12 ya que son el número de paletas con las que cuenta la bomba Barsha.

$$w_{\text{aleta}} = 12\rho_{\text{acn}} * V_{\text{aleta}} * g$$

$$w_{\text{aleta}} = 12\left(7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)(3,6 \times 10^{-5} \text{m}^3)\left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$w_{\text{aleta}} = 33,2676 \text{ [N]}$$

Cálculo de la varilla de agarre de las espirales.

De la **Figura 18**, se observa los datos de las varillas de agarre de las espirales.

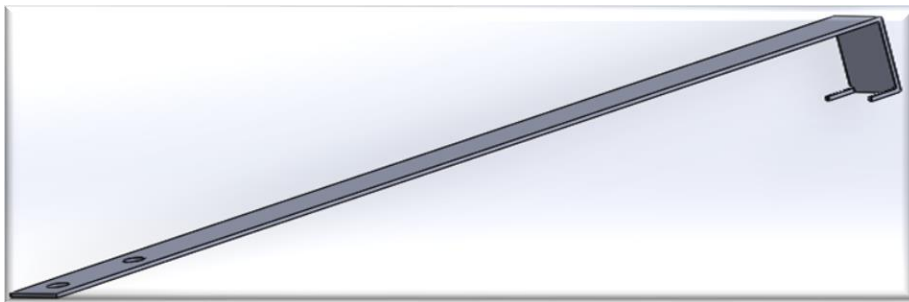


Figura 18: Varilla de agarre de las espirales.
Fuente: Propio.

Cálculo del área de la varilla de soporte de las espirales.

$$A_{\text{soporte}} = (0,733\text{m})(0,003\text{m})$$

$$A_{\text{soporte}} = 2,199 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

Cálculo del volumen de la varilla de soporte.

$$V_{\text{soporte}} = A_{\text{soporte}} * e_{\text{soporte}}$$

$$V_{\text{soporte}} = (2,199 \times 10^{-3} \text{m}^2)(0,003\text{m})$$

$$V_{\text{soporte}} = 6,597 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Para poder calcular el peso de las varillas de soporte de la espiral (**Figura 18**) se debe multiplicar por 6 ya que son el número de varillas de soporte de la espiral con las que cuenta la bomba Barsha.

$$W_{\text{soporte}} = 6\rho_{\text{acn}} * V_{\text{soporte}} * g$$

$$W_{\text{soporte}} = 6\left(7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)(6,597 \times 10^{-6} \text{ m}^3)\left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$W_{\text{soporte}} = 3,0481 \text{ [N]}$$

Para el cálculo del peso total que soportará el eje se suma todos los pesos parciales que actúan.

$$W_{\text{Tespisal eje}} = W_{\text{disco}} + W_{\text{varilla}} + W_{\text{aleta}} + W_{\text{soporte}}$$

$$W_{\text{Tespisal eje}} = 28,1037 \text{ N} + 57,3885 \text{ N} + 33,2676 \text{ N} + 3,0481 \text{ N}$$

$$W_{\text{Tespisal eje}} = 121,8079 \text{ [N]}$$

Cálculo del peso de la espiral la que se la representará por w_{e1} .

$$w_{e1} = w_{\text{manguera}} + w_{\text{Taire}} + w_{\text{Tagua}} + w_{\text{Tespisal eje}} + \frac{w_{\text{acn}}}{2}$$

$$w_{e1} = 163,481\text{N} + 0,289\text{N} + 96,177\text{N} + 107,3707\text{N} + \frac{199,6060\text{N}}{2}$$

$$w_{e1} = 481,5579 \text{ [N]}$$

Los cálculos se realizaron para 1 espiral, pero como ambas espirales son iguales por lo que resulta $w_{e1} = w_{e2}$

$$w_{e2} = 481,5579 \text{ [N]}$$

Para el cálculo del peso total que soportara el eje se tiene en cuenta el peso w_{e1} y el w_{e2} más el peso de las paletas, este peso es el peso del acero negro w_{acn} estos son todos los pesos que soporta el eje de la bomba Barsha.

$$w_{T \text{ en el eje}} = w_{e1} + w_{e2}$$

$$w_{T \text{ en el eje}} = 2w_{e1}$$

$$w_{T \text{ en el eje}} = 2(481,5579\text{N})$$

$$w_{T \text{ en el eje}} = 963,1158 \text{ [N]}$$

Esto son todos los pesos que actúan en el eje, ahora se diseñara el eje de la bomba Barsha teniendo en cuenta los pesos calculados anteriormente, para el cálculo de las reacciones nos fijaremos en la **Figura 19**. En la que nos muestra la distribución de los pesos en el eje.

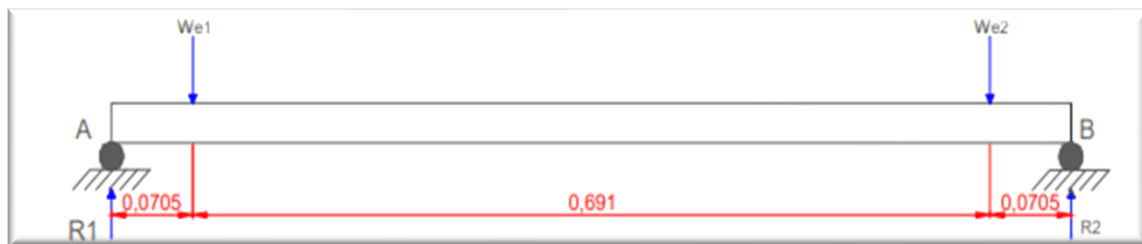


Figura 19: Distribución del peso en el eje.

Fuente: Propio.

Cálculo de las reacciones (R_1) y (R_2) para lo que se realizará sumatorias de las fuerzas en el eje Y, la cual se puede ver en la **Figura 19**.

$$+\uparrow \Sigma R_y = 0$$

$$R_1 - w_{e1} - w_{e2} + R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = w_{e1} + w_{e2}$$

$$R_1 + R_2 = 481,5579\text{N} + 481,5579\text{N}$$

$$R_1 + R_2 = 963,1158 \text{ [N]}$$

Cálculo del momento flector en el eje, para ello se realiza la sumatoria de fuerzas en el punto (A) del eje. Con el cual se halla la reacción (R_2) del eje.

$$+\curvearrowright \Sigma Mf_A = 0$$

$$-w_{e1}(0,0705\text{m}) - w_{e2}(0,7615\text{m}) + R_2(0,832\text{m}) = 0$$

$$R_2(0,832\text{m}) = w_{e1}(0,0705\text{m}) + w_{e2}(0,7615\text{m})$$

$$R_2 = \frac{w_{e1}(0,0705\text{m}) + w_{e2}(0,7615\text{m})}{0,832\text{m}}$$

$$R_2 = \frac{481,5579\text{N}(0,0705\text{m}) + 481,5579\text{N}(0,7615\text{m})}{0,832\text{m}}$$

$$R_2 = 481,5579 \text{ [N]}$$

Cálculo de la reacción R_1 .

$$R_1 + R_2 = 963,1158 \text{ N}$$

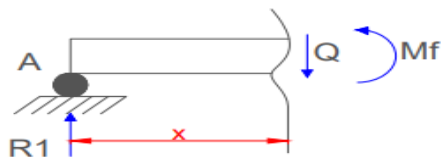
$$R_1 = 963,1158\text{N} - R_2$$

$$R_1 = 963,1158\text{N} - 481,5579 \text{ N}$$

$$R_1 = 481,5579 \text{ [N]}$$

Para los diagramas del momento cortante y el momento flector se realiza cortes en el eje para cada uno de los cálculos respectivos.

Corte 1.



Cálculo de la fuerza cortante 1.

$$+\uparrow \Sigma F = 0$$

$$R_1 - Q = 0$$

$$Q = R_1$$

$$Q = 481,5579 \text{ [N]}$$

Cálculo del momento flector 1.

$$+\cup \Sigma Mf = 0$$

$$-R_1 * x + Mf = 0$$

$$Mf = R_1 * x$$

Los valores de x son los siguientes intervalos.

$$0 \leq x \leq 0,0705$$

Para $x = 0\text{m}$

$$M_f = (481,5579\text{N})(0\text{m})$$

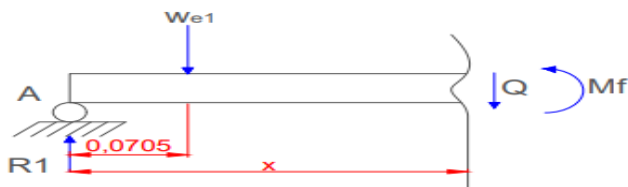
$$M_f = 0 \text{ [Nm]}$$

Para $x = 0,0705\text{m}$

$$M_f = (481,5579 \text{ N})(0,0705\text{m})$$

$$M_f = 33,9498 \text{ [Nm]}$$

Corte 2.



Cálculo de la fuerza cortante 2.

$$+\uparrow \Sigma F = 0$$

$$R1 - we1 - Q = 0$$

$$Q = R1 - we1$$

$$Q = 481,5579\text{N} - 481,5579\text{N}$$

$$Q = 0 \text{ [N]}$$

Cálculo del momento flector 2.

$$+\cup \Sigma M_f = 0$$

$$-R1 * x + we1(x - 0,0705) + M_f = 0$$

$$M_f = R1 * x - we1(x - 0,0705)$$

Los valores de x en los siguientes intervalos.

$$0,0705 \leq x \leq 0,416 \leq x \leq 0,7615$$

Para $x = 0,0705\text{m}$

$$M_f = (481,5579\text{N})(0,0705\text{m}) - (481,5579\text{N})(0,0705\text{m} - 0,0705\text{m})$$

$$M_f = 33,9498 \text{ [Nm]}$$

Para $x = 0,416\text{m}$

$$M_f = (481,5579\text{N})(0,416\text{m}) - (481,5579\text{N})(0,416\text{m} - 0,0705\text{m})$$

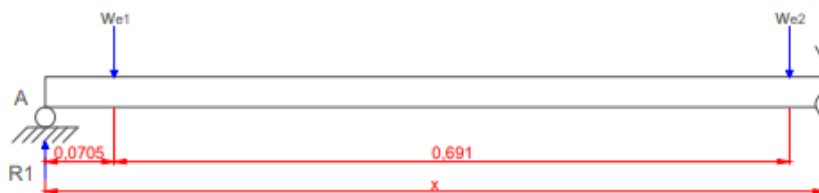
$$M_f = 33,9498 \text{ [Nm]}$$

Para $x = 0,7615\text{m}$

$$M_f = (481,5579\text{N})(0,7615\text{m}) - (481,5579\text{N})(0,7615\text{m} - 0,0705\text{m})$$

$$M_f = 33,9498 \text{ [Nm]}$$

Corte 3.



Cálculo de la fuerza cortante 3.

$$+\uparrow \Sigma F = 0$$

$$R1 - w_{e1} - w_{e2} - Q = 0$$

$$Q = R1 - w_{e1} - w_{e2}$$

$$Q = 481,5579\text{N} - 481,5579\text{N} - 481,5579\text{N}$$

$$Q = -481,5579 \text{ [N]}$$

Cálculo del momento flector 3.

$$+\cup \Sigma M_f = 0$$

$$-R1 * x + w_{e1}(x - 0,0705\text{m}) + w_{e2}(x - 0,7615) + M_f = 0$$

$$M_f = R1 * x - w_{e1}(x - 0,0705\text{m}) - w_{e2}(x - 0,7615)$$

Los valores de x en los siguientes intervalos.

$$0,7615 \leq x \leq 0,832$$

Para $x = 0,7615\text{m}$

$$M_f = 481,5579\text{N} * 0,7615\text{m} - 481,5579\text{N}(0,7615\text{m} - 0,0705\text{m}) \\ - 481,5579\text{N}(0,7615\text{m} - 0,7615)$$

$$M_f = 33,9498 \text{ [Nm]}$$

Para $x = 0,832\text{m}$

$$M_f = 481,5579\text{N} * 0,832\text{m} - 481,5579\text{N}(0,832\text{m} - 0,0705\text{m}) \\ - 481,5579\text{N}(0,832\text{m} - 0,7615)$$

$$M_f = 0 \text{ [Nm]}$$

El diagrama de la fuerza cortante y momento flector se lo representa en la **Figura 20**. El diagrama se lo realizó en el programa MDSolids 3.5.

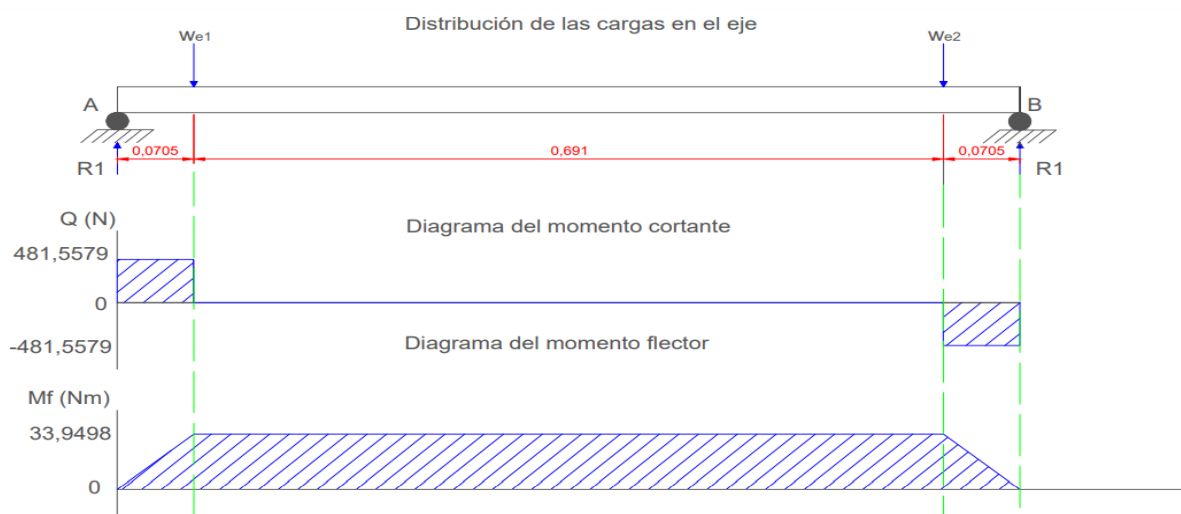


Figura 20: Diagrama de momento flector y momento cortante.

Fuente: Propio.

Cálculo del momento torsor del eje (M_T)

Primero se calcula el área mojada (A_{mojada}) de las paletas, es la parte de la paleta que se encuentra sumergida en el agua. Siendo (a) el ancho de la paleta y (h_s) la altura sumergida en el agua.

$$a = 0,6\text{m}$$

$$h_s = 0,3\text{m}$$

$$A_{\text{mojada}} = a * h_s$$

$$A_{\text{mojada}} = (0,6\text{m})(0,3\text{m})$$

$$A_{\text{mojada}} = 0,18 \text{ [m}^2\text{]}$$

Cálculo de la fuerza de arrastre(F_a)

Para el cálculo de la fuerza de arrastre primero se calcula α que es la relación que existe entre el largo (a) y el ancho (b). Obteniendo esta relación se procede a buscar el valor en la tabla, siendo c_D un valor adimensional. (Mott, 2006)

Donde:

$$a = 0,6\text{m}$$

$$b = 0,36\text{m}$$

$$\alpha = \frac{a}{b}$$

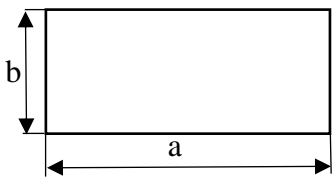
$$\alpha = \frac{0,6\text{m}}{0,36\text{m}}$$

$$\alpha = 1.67$$

De acuerdo a la **tabla 7**, al no tener un valor para esta relación de c_D se procede a interpolar para obtener el valor de c_D .

Tabla 7

Coefficientes de arrastres comunes.

Forma del objeto	Orientación	a/b	C_D	
Placa rectangular	Flujo		1	1,16
			4	1,17
			8	1,23
			12,5	1,34
			25	1,57
			50	1,76
			α	2,00

Fuente: Robert L. Mott.

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre

Interpolando se obtiene.

$$\frac{4 - 1}{4 - 1,67} = \frac{1,17 - 1,16}{1,17 - x}$$

Para obtener el valor de x se resuelve la ecuación de primer grado y se obtiene.

$$x = 1,16223$$

Donde $x = C_D$

La fuerza tangencial en la paleta se ubica a un tercio de la altura donde se encuentra el punto de presión.

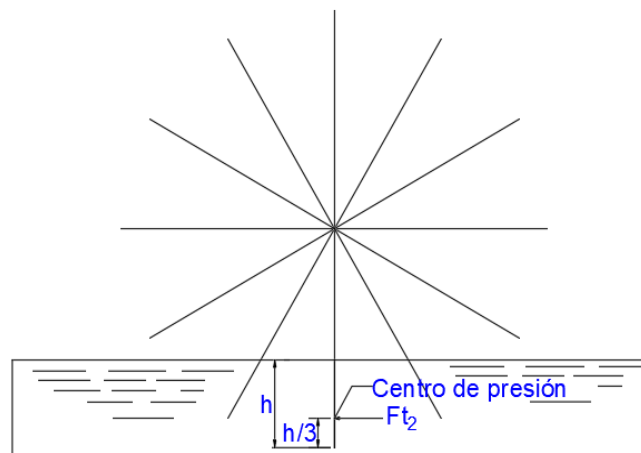


Figura 21: Ubicación de la fuerza en la paleta
Fuente: Propio

Cálculo de la fuerza tangencial en la paleta. Ver en la **Figura 21**.

$$F_{t2} = \frac{1}{2} C_D \rho_{\text{agua}} * v_{\text{agua}}^2 * A_{\text{mojada}}$$

$$F_{t2} = \frac{1}{2} (1,16223) (1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) (1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 (0,18 \text{m}^2)$$

$$F_{t2} = 104,6 \text{ [N]}$$

La segunda paleta que se encuentra sumergida en el agua separada a 30° con respecto de la primera paleta que se encuentra sumergida, como se muestra en la **Figura 22**.

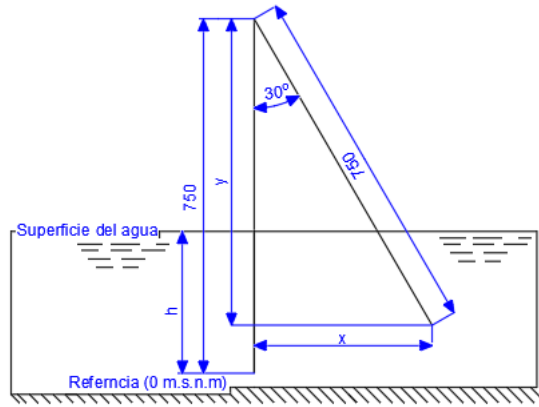


Figura 22: Ángulo de separación de las paletas
Fuente: Propio.

De la **Figura 22**. Se calcula los valores de x e y .

Cálculo del valor de x .

$$\text{sen}30^\circ = \frac{x}{0,75 \text{ m}}$$

$$x = 0,375 \text{ [m]}$$

Cálculo del valor de y .

$$\text{cos}30^\circ = \frac{y}{0,75 \text{ m}}$$

$$y = 0,65 \text{ [m]}$$

Cálculo de las distancias x_1 e y_1 , de la **Figura 23** se observa cómo se encuentra sumergida la paleta dos y con ello se puede calcular las distancias antes mencionadas.

Cálculo de la distancia y_1 , para ello se obtiene los datos de la **Figura 22**.

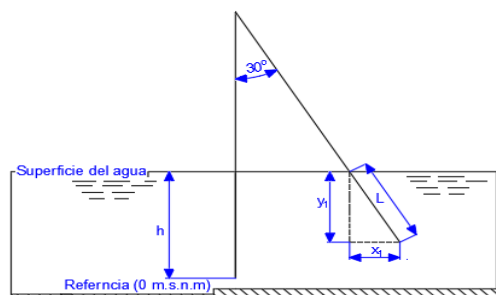


Figura 23: Ubicación de la paleta 2.
Fuente: Propio

Para ver la ubicación de y_1 ver la **Figura 23**.

$$y_1 = y - (0,75 \text{ m} - h)$$

$$y_1 = 0,65 \text{ m} - (0,75 \text{ m} - 0,30 \text{ m})$$

$$y_1 = 0,2 \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia x_1 .

$$\text{tag}30^\circ = \frac{x_1}{y_1}$$

$$x_1 = y_1 \text{tag}(30^\circ)$$

$$x_1 = (0,2 \text{ m})\text{tag}(30^\circ)$$

$$x_1 = 0,115 \text{ [m]}$$

En la **Figura 23** se puede observar cómo se encuentra ubicada la distancia L.

Cálculo de la distancia L.

$$L = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$$

$$L = \sqrt{(0,115 \text{ m})^2 + (0,2 \text{ m})^2}$$

$$L = 0,23 \text{ [m]}$$

Primero se calcula el área mojada (A_{mojada}) de las paletas, es la parte de la paleta que se encuentra sumergida en el agua. Siendo (a) el ancho de la paleta y (L) la altura sumergida en el agua.

$$a = 0,6\text{m}$$

$$L = 0,23 \text{ m}$$

$$A_{\text{mojada}} = a * L$$

$$A_{\text{mojada}} = (0,6\text{m})(0,23\text{m})$$

$$A_{\text{mojada}} = 0,138 \text{ [m}^2\text{]}$$

En la **Figura 24**, se muestra cómo se encuentra la fuerza ubicada en la paleta,

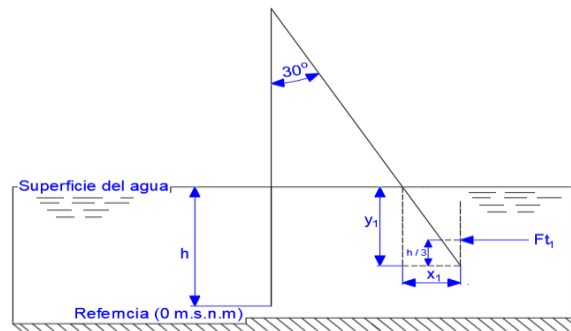


Figura 24: Ubicación de la fuerza tangencial 1.

Fuente: Propio.

Cálculo de la Fuerza tangencial 1. Para el coeficiente de arrastre se utiliza el mismo de la segunda paleta. Las paletas que siempre van a estar sumergidas son tres ver **Figura 21**, y se puede ver en la figura que la paleta 1 y la paleta 3 tienen las mismas condiciones por lo que la fuerza tangencial F_{t1} va a ser igual que la fuerza tangencial F_{t3} . Por lo que:

$$F_{t1} = 2\left(\frac{1}{2} C_D \rho_{\text{agua}} * v_{\text{agua}}^2 * A_{\text{mojada}}\right)$$

$$F_{t1} = (1,16223)(1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})(1 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2(0,138\text{m}^2)$$

$$F_{t1} = 160,38 \text{ [N]}$$

La fuerza aplicada se encuentra ubicada a un tercio de la altura de y_1 lo que resulta, que el radio torsor en esta paleta está dada por la siguiente ecuación.

$$R_{t1} = 0,750 \text{ m} - \frac{y_1}{3}$$

$$R_{t1} = 0,750 \text{ m} - \frac{0,2 \text{ m}}{3}$$

$$R_{t1} = 0,68 \text{ [m]}$$

Cálculo del momento torsor para ello se multiplica la fuerza total resultante en el eje x, ya que es el que produce el momento torsor, y nos resulta.

$$M_{t1} = F_{t1} R_t$$

$$M_{t1} = (160,38 \text{ N})(0,68 \text{ m})$$

$$M_{t1} = 109,1 \text{ [Nm]}$$

La fuerza aplicada dos se encuentra ubicada a un tercio de la altura (h) de la espiral por lo que se tiene lo siguiente.

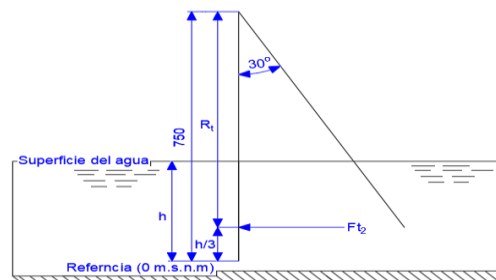


Figura 24: Ubicación de la fuerza tangencial 2.
Fuente: Propio.

Para calcular el radio torsor ver la **Figura 24**, y resulta.

$$R_t = 0,750 \text{ m} - \frac{h}{3}$$

$$R_t = 0,750 \text{ m} - \frac{0,3 \text{ m}}{3}$$

$$R_t = 0,65 \text{ [m]}$$

Calculo del momento torsor producido en la paleta 2.

$$M_{t2} = F_{t2} R_t$$

$$M_{t2} = (104,6 \text{ N})(0,68 \text{ m})$$

$$M_{t2} = 71,128 \text{ [Nm]}$$

El momento torsor total es la suma de los dos momentos que se producen en las paletas.

$$M_t = M_{t1} + M_{t2}$$

$$M_t = 109,1 \text{ Nm} + 71,128 \text{ Nm}$$

$$M_t = 180,228 \text{ [Nm]}$$

Para el esquema de carga a torsión, se considera el torque producido por la acción del agua sobre las paletas y los momentos resistentes en cada apoyo (cojinetes). Donde se considera que el momento de la carga a torsión es una carga puntual a lo largo del eje. Ver en la **Figura 25**.



Figura 25: Ubicación del momento torsor en el eje.
Fuente: Propio

El momento torsor es una fuerza que se encuentra distribuido a lo largo del eje como se muestra **Figura 26**.

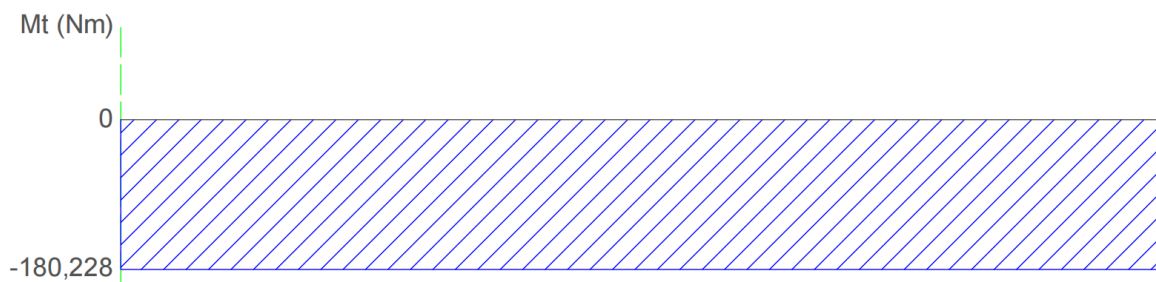


Figura 26: Diagrama del momento Torsor.
Fuente: Propio

Definiendo la ubicación de la sección más peligrosa del eje, donde se puede determina las partes más peligrosas de la sección mas peligrosa, puntos por los cuales se establece la ecuación de Von Mises. (G. S. PisarenKo, pág. 296).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Cálculo de la tensión equivalente.

Para el cálculo de la tensión primero se calcula una relación entre el diámetro exterior ($d_e=0,052m$) y el diámetro interior ($d_i=0,047m$) del eje.

En la sección más peligrosa la distribución de tensiones es como sigue.

$$\alpha = \frac{d_i}{d_e}$$

$$\alpha = \frac{0,047\text{m}}{0,052\text{m}}$$

$$\alpha = 0,9038$$

Módulo de la sección de la sección tubular con diámetro (d_i y d_e).

$$w = 0,1d_e^3(1 - \alpha)$$

$$w = 0,1(0,052\text{m})^3(1 - 0,9038^4)$$

$$w = 4,6787 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Módulo polar de la sección de sección tubular con diámetro (d_i y d_e)

$$w_p = 0,2d_e^3(1 - \alpha^4)$$

$$w_p = 0,2(0,052\text{m})^3(1 - 0,9038^4)$$

$$w_p = 9,3574 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo del esfuerzo flector producido en el eje por las cargas aplicadas.

$$\sigma = \frac{M_{f_{\max}}}{w}$$

$$\sigma = \frac{33,9498 \text{ Nm}}{4,6787 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma = 7,256246 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Cálculo del esfuerzo torsor.

$$\tau = \frac{Mt}{w_p}$$

$$\tau = \frac{180,228 \text{ Nm}}{9,3574 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\tau = 19,260478 \times 10^6 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Cálculo de la tensión equivalente (σ_{eq}). Mediante la ecuación de Von Mises.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(7,256246 \times 10^6 \cdot \frac{N}{m^2}\right)^2 + 3 \left(19,260478 \times 10^6 \cdot \frac{N}{m^2}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = 34,140169 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$$

Cálculo del diámetro del eje.

Una vez obtenido el momento flector máximo y el momento torsor se procede a calcular el diámetro del eje. El eje seleccionado (Tubo A36 en su estado galvanizado) tiene un esfuerzo a la fluencia de 250 MPa, y se utilizara un factor de seguridad de 3. También se consideró las siguientes condiciones.

- $k_b = 2$ Para ejes en rotación, Carga repentina (choque fuerte)
- $k_t = 2$ Para ejes en rotación, Carga repentina (choque fuerte)
- $d_e = 0,060m$
- $d_i = 0,036m$

Cálculo de la relación entre los diámetros.

$$k = \frac{d_i}{d_e}$$

$$k = \frac{0,036m}{0,060m}$$

$$k = 0,6$$

Diámetro del eje.

$$d_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16n_s}{\pi\sigma_y(1-k^4)} \sqrt{(k_b M f_{max})^2 + (k_t M t)^2}}$$

$$d_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16(0,5)}{\pi(250 \times 10^6 \text{ Pa})(1 - 0,6)^4} \sqrt{(2 * 33,9498 \text{ Nm})^2 + (2 * 180,228 \text{ Nm})^2}}$$

$$d_{eje} = 0,052 \text{ m}$$

Una vez calculado el diámetro del eje, se seleccionó un eje hueco de 2" x A36 en su estado galvanizado

Cálculo de rodamientos para la bomba Barsha.

Se calcula la velocidad angular de la bomba.

$$\omega = \frac{v}{R_e}$$

$$\omega = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,75 \text{ m}}$$

$$\omega = 1,3333 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Cálculo del número de vueltas de las ruedas en rpm.

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi}$$

$$n = \frac{30 \left(1,33333 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)}{\pi}$$

$$n = 12,73 \text{ [rpm]}$$

Cálculo de la carga dinámica equivalente.

Para calcular la carga dinámica equivalente se tomó un factor de seguridad ($F_s = 2$) y nos resulta.

$$P_d = R_1 * F_s$$

$$P_d = (481,5579 \text{ N})(2)$$

$$P_d = 963,1158 \text{ [N]}$$

Cálculo de la fuerza máxima corregida que soportará el rodamiento durante la vida útil.

Ver Anexo 5.

$f_s = 2,5$ Para exigencias elevadas

$$P_c = \frac{P_d}{2} * f_s$$

$$P_c = \frac{963,1158 \text{ N}}{2} * 2,5$$

$$P_c = 1203,9 \text{ [N]}$$

Cálculo de (f_n) que es el factor de velocidad.

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33\frac{1}{3}}{n}}$$

Donde:

- $p = 3$ para rodamiento de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33\frac{1}{3}}{n}}$$

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33\frac{1}{3}}{12,73 \text{ rpm}}}$$

$$f_n = 1,378$$

Cálculo de la capacidad de carga.

- $f_l = 4,5$ Para bombas de émbolo

Se escogió el f_l para bombas de émbolo ya que el funcionamiento de la bomba Barsha es similar a las bombas de desplazamiento positivo ver Anexo 6.

$$C = \frac{P_c}{f_n} * f_l$$

$$C = \frac{1203,9 \text{ N}}{1,378} * 4,5$$

$$C = 3717,039 \text{ [N]}$$

$$C = 3,9 \text{ [KN]}$$

Una vez obtenida la capacidad de carga se escoge el rodamiento del catálogo FAG, para lo cual el rodamiento que se selecciono es: ver (**Figura 27**).

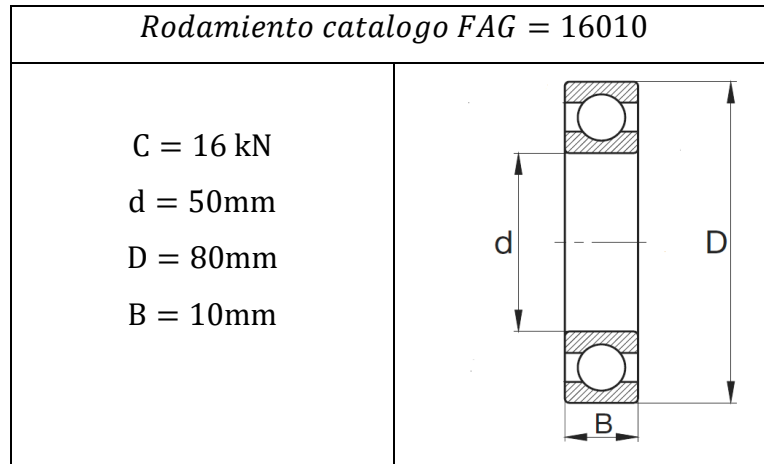


Figura 27: Rodamiento FAG.

Fuente: Catálogo de FAG.

Se escogió este rodamiento por tener la capacidad de carga más cercana a la calculada en el catálogo de FAG.

5.3. Construcción de la Bomba Barsha.

La construcción de la bomba es un factor muy importante en el desarrollo del proyecto, sabiendo que, para una terminación exitosa no basta con un planteamiento específico teórico de lo que se quiere lograr a través de dicho proyecto, sino también dar acompañamiento al mismo, para ello es necesario un proceso de seguimiento, que en el caso de la construcción se denomina Proceso Constructivo.

El proceso de construcción se lo utilizará como referencia para la ejecución de la tesis ya que es el conjunto de fases, sucesivas en el tiempo, necesarias para la materialización del proyecto. Este cumple un papel determinante en la etapa de construcción con la finalidad de ir supervisando que cada paso en las diferentes actividades se realice con óptima calidad y cumplan con las especificaciones técnicas requeridas por la norma técnica de construcción y la norma técnica de dibujo CPE – INEN (Código Practico Ecuatoriano).

Tomando en cuenta que se construyó una bomba libre de consumo de combustible derivado de petróleo y sin consumo de energía eléctrica, para lograr el objetivo planteado se siguieron los siguientes pasos:

1. Adquisición del material para la bomba.
2. Construcción de la base que soporta las ruedas espirales de la bomba.
3. Construcción de cada uno de los mecanismos que conforman la bomba
4. Pintado de la bomba.
5. Prueba de funcionamiento.

5.4. Construcción de la estructura que soporta la bomba.

La bomba fue construida en un taller industrial (MIN) con la finalidad de garantizar las normas de seguridad personal y parámetros de diseño.

La estructura de la bomba Barsha se construyó en un tubo cuadrado de 40mm x2mm de espesor, el marco de la estructura se lo trazo en el piso con todas las medidas del plano, y posteriormente con una falsa escuadra se copió los ángulos internos de la estructura y poder realizar los cortes, como se muestra en la **Figura 28**.



Figura 28: Corte de los tubos.
Fuente: Propio.

Una vez cortados los tubos se procedió a puntear los tubos en su posición. Como se muestra en la **Figura 29**.



Figura 29: Montaje de la estructura.
Fuente: Propio

Luego que se punteo y comprobó las medidas, se procedió a soldar completamente el marco de la bomba.

Las varillas de soporte fueron hechas en platina de 1 1/4x1/8. Las varillas se las cortó en una trozadora de acuerdo a las medidas establecidas como se muestra en la **Figura 30**.



Figura 30: Corte de la platina.
Fuente: Propio.

Las varillas cuentan con dos perforaciones en uno de sus extremos de un diámetro de 11 mm. Luego en el lugar donde se realizó las perforaciones en una dobladora se procedió a realizar los dobleces como se indica en la **Figura 31**.



Figura 31: Doblado de las varillas.
Fuente: Propio.

La aleta también se la realizo en platina la cual cuenta con dos perforaciones en cada uno de sus extremos con un diámetro de 11 mm. La aleta se encuentra soldada a la varilla de soporte en forma de T como se muestra en la **Figura 32**.



Figura 32: Varilla de soporte de las espirales.
Fuente: Propio.

La varilla de soporte y la aleta conforman la varilla de soporte de las espirales, las cuales son en total de 24 varillas, teniendo en cuenta que son 12 izquierdas y 12 derechas.

Las paletas fueron construidas en una plancha de acero negro de 1mm de espesor la cual se corte cada una de las paletas por medio de plasma dándole las medidas a cada paleta de acuerdo al dibujo. Para endurecer las paletas se le realizo en las partes anchas unos dobleces como se muestra en la **Figura 33**.



Figura 33: Paletas.
Fuente: Propio.

La bomba Barsha cuenta con un total de 12 paletas, en la estructura se encuentran separadas a 30° una con respecto a la otra. También las paletas tienen perforaciones en cada una de sus esquinas para poder unirse a la paleta de la varilla de soporte de la espiral.

Los discos fueron construidos de una plancha antideslizante de 3mm de espesor teniendo un diámetro exterior de 400mm, y un diámetro interior de 47mm, los cuales fueron cortados con plasma. También consta con 24 perforaciones de un diámetro de 11mm, ubicados en 2 hileras concéntricas separadas a 30 grados una de la otra. Estas perforaciones se las realizó con un taladro de pedestal y una broca 11. Véase en la **Figura 34**.



Figura 34: Disco.
Fuente: Propio.

El eje se construyó en acero galvanizado con un diámetro de dos pulgadas y en sus extremos tiene pedazos de acero de 2 1/4 al carbono SAE 1020. Los cuales son los que se conectan a las chumaceras. Véase en la **Figura 35**.



Figura 35. Montaje del eje.
Fuente: Propio.

También el eje cuenta con una perforación en uno de sus extremos y se soldó un pedazo de tubo del mismo material para poder tener una mayor resistencia como se muestra en la **Figura 36**.



Figura 36: Perforación del eje.
Fuente: Propio.

Una vez teniendo todos los componentes de la bomba Barsha se procedió al montaje, la primera parte del montaje se acopló en la estructura las chumaceras, el disco y el eje como se muestra en la **Figura 37**. Luego se procedió a montar las varillas de soporte de las espirales con las paletas, estas se encuentran unidas con pernos M10 arandelas galvanizadas grado 2 y tuercas. Como se muestra en la **Figura 37**.



Figura 37: Montaje de las piezas.
Fuente: Propio.

Cuando estuvo montada la bomba se realizó pruebas de giro para poder comprobar el funcionamiento y que no tenga ningún tipo de rozamiento o desbalance, corregido los desperfectos se procedió a desmontarla para pintarla.

Toda la bomba tiene en su estructura una capa de pintura de fondo blanco, el cual se le paso dos manos de pintura. La segunda mano de pintura permitió corregir algún fallo que haya quedado en la primera mano de pintura, en la **Figura 38** se muestra el pintado final.



Figura 38: Pintado de la Bomba.
Fuente: Propio.

Una vez secado el fondo se la pinto a la bomba de color azul, para el pintado final se le dio tres manos de pintura, esto permite que no quede ningún lugar sin pintar y que con el futuro no se oxide en alguna de sus piezas, en la **Figura 39** se muestra el acabado final del pintado.



Figura 39. Pintado final.
Fuente: Propio.

Una vez terminado el pintado final se procedió al montaje de las espirales, y cada uno de sus componentes que la conforman dando como resultado la bomba Barsha. El producto final se muestra en la **Figura 40**.



Figura 40: Bomba Barsha final.
Fuente: Propio.

6. RESULTADOS.

6.1. Desarrollo de los datos tomados en el campo.

6.1.1. Cálculo de la velocidad del agua en el canal.

El cálculo de la velocidad del agua que circula por el canal se lo realizo de una manera empírica, donde se tomó una distancia del canal, y luego se lanzó un objeto al agua y se tomó el tiempo que tardaba en recorrer dicha distancia, para poder tener un dato más preciso se repitió la experiencia 5 veces, en la **tabla 8**, se muestran los tiempos que tardó en recorrer el objeto dicha distancia.

Tabla 8

Datos tomados de campo.

N° de experiencias	Distancia del canal (m)	Tiempo (s)
1	4	4,70
2	4	4,32
3	4	3,07
4	4	3,77
5	4	4,77

Fuente: Propio.

Para el cálculo del tiempo promedio del agua que tardó en recorrer una distancia de 4m.

$$t_{\text{promedio}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{n}$$

Donde:

t = Tiempo

n = Número de experiencias realizadas

$$t_{\text{promedio}} = \frac{4,70s + 4,32s + 3,07s + 3,77s + 4,77s}{5}$$

$$t_{\text{promedio}} = \frac{20,63s}{5}$$

$$t_{\text{promedio}} = 4,126 [s]$$

Cálculo de la velocidad del agua del canal.

$$v_{\text{agua}} = \frac{d}{t_{\text{promedio}}}$$

$$v_{\text{agua}} = \frac{4 \text{ m}}{4,126 \text{ s}}$$

$$v_{\text{agua}} = 0,969 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Para poder calcular el caudal que circula por el canal se midió la base y la altura del agua en el canal.

Donde:

$$b_{\text{canal}} = 1,2 \text{ m}$$

$$h_{\text{agua}} = 0,42 \text{ m}$$

Cálculo del área del canal.

$$A_{\text{canal}} = b_{\text{canal}} h_{\text{agua}}$$

$$A_{\text{canal}} = (1,2 \text{ m})(0,42 \text{ m})$$

$$A_{\text{canal}} = 0,504 \text{ [m}^2\text{]}$$

Una vez calculado el área y la velocidad del canal se calcula el caudal que circula.

$$Q_{\text{canal}} = A_{\text{canal}} v_{\text{canal}}$$

$$Q_{\text{canal}} = (0,504 \text{ m}^2) \left(0,969 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$Q_{\text{canal}} = 0,488 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

6.1.2. Cálculo de la velocidad angular de la rueda espiral.

Para el cálculo de la velocidad angular de la rueda se tuvo en cuenta la velocidad del agua y el diámetro exterior de la rueda espiral ($\varnothing_e = 1,5 \text{ m}$), por lo que se utiliza la siguiente fórmula.

$$v_{\text{canal}} = \frac{\varnothing_e \omega_{\text{rueda}}}{2}$$

$$\omega_{\text{rueda}} = \frac{2v_{\text{canal}}}{\varnothing_e}$$

$$\omega_{\text{rueda}} = \frac{2 \left(0,969 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{1,5\text{m}}$$

$$\omega_{\text{rueda}} = 1,292 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$$

Luego se calcula la velocidad de giro de la rueda en rpm mediante la siguiente formula.

$$\omega_{\text{rueda}} = \frac{\pi n}{30}$$

$$n = \frac{30\omega_{\text{rueda}}}{\pi}$$

$$n = \frac{30\omega_{\text{rueda}}}{\pi}$$

$$n = \frac{30 \left(1,292 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}{\pi}$$

$$n = 12,34 \text{ [rpm]}$$

En la **tabla 9**. Se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a la prueba de campo.

Tabla 9

Tabla de datos obtenidos en las pruebas realizadas.

Bomba Barsha		
Descripción	Resultados	Observaciones
v_{agua}	0,969 m/s	Realizar la toma de datos con instrumentos más precisos para obtener una mayor precisión en los resultados
Q_{canal}	0,488 m ³ /s	
ω_{rueda}	1,292 Rad/s	
n	12,34 rpm	

Fuente: Propio.

6.1.3 Valoración económica.

La valorización económica del proyecto se realizó en dos aspectos:

1. La bomba se puede construir con materiales que se encuentren en el mercado local.
2. Es más rentable construir la bomba o adquirir un modelo del mercado.

La evaluación se la realizó en base a si es más rentable construir o adquirir una ya

fabricada.

6.1.4. Costos de materiales.

Los costos de los materiales del presente proyecto son:

- Materiales y construcción
- Sueldos

En la **tabla 10** se detallan los costos de materiales para la construcción de la bomba. Todos los materiales fueron adquiridos en la ciudad de Loja.

Tabla 10

Presupuesto de la bomba (propio)

	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	¼ Fondo uniprime	6,25	6,25
2	¼ Pintura sintético azul	6,25	12,50
1	Guaípe	1,34	1,34
2	Diluyente	1,34	2,68
1	Plancha negra 1/25	17,76	17,76
7	Platina de 1 ¼ x 1/8	5,17	36,19
26	Acero 2 ¼ al carbono SAE 1020	0,499	12,97
98	Tubo de 2" x 2mm galvanizado	0,043	4,21
100	Perno acero MM 10x25x1,5	0,16	16,00
100	Tuercas acero MM 10x1,5	0,053	5,30
1	Libra / arandela plana / galv. ¼ ancha	1,964	1,96
100	Tuboflex pp 1 ¼	0,916	91,60
2	Chumacera piso UCP-211-32 (2)	19,642	39,28
4	Perno de ¾ x 3 ½ más tuerca y arandela	2,00	8,00
2	Tubo. Est. Neg. 4mm x 2mm (1 ½)	12,5	25,00
1	Manómetro	11,00	11,00
1	Válvula chek	9,00	9,00
1	Tee reductora ros cable 1 a ½	2,53	2,53
9	Manguera de 1" cristal lisa	3,3025	29,72
5	Carreras	5,00	25,00
1	Racor de 1" parte móvil y parte fija	15,00	15,00
10	Abrazadera	0,8	8,00
1	Yee 1"	0,49	0,49
2	Reducción gris de 1 ¼ a 1"	0,77	1,54
2	Codo de 90 de 1"	0,39	0,78
1	Bushing de ½ a ¼	0,39	0,39
1	Teflón	0,3	0,3
1	Torneado	20,00	20,00
1	Reductor de 1" a ¾	0,45	0,45
		Subtotal \$	405,26

	IVA 12%	48,63102
	USD \$	
	Total \$	453,89

Fuente: Propio.

6.1.5. Análisis del Impacto Ambiental.

En la Valoración de Impactos Ambientales se deben identificar, describir y evaluar los impactos ambientales que se presentarán durante la ejecución e implementación del proyecto. Sabiendo que la bomba no consume ningún derivado de petróleo ni electricidad se puede decir que el impacto ambiental es mínimo con relación a otro tipo de bombas tales como las de gasolina, diésel.

6.1.6. Reglas para la operación de la bomba.

Para el funcionamiento de la bomba se deben seguir los siguientes pasos.

1. Llevar la bomba al lugar de funcionamiento.
2. Debe ser cargada mínimo por cuatro personas
3. Ubicarla y asegurarla en el lugar de funcionamiento
4. Ubicar la manguera en la zona en que se vaya a acumular o regar el agua.
5. Esperar que la bomba cargue el agua.

6.1.7. Mantenimiento de la bomba.

El mantenimiento de la bomba puede ser realizado por cualquier persona sin conocimientos sobre ella, ya que no tiene un mecanismo complejo de funcionamiento. Para ello se debe revisar que no tenga fugas en las espirales o en alguno de los accesorios que la conforman.

También se debe revisar las chumaceras ya que son la única parte más vulnerable de la bomba.

6.2. Pruebas del dispositivo.

La bomba Barsha que se diseñó y construyó, fue sometida a distintas pruebas en un canal ubicado en el cantón Catamayo, dicho canal se encuentra ubicado frente al Guayabal vía a la

costa. La bomba fue sometida a distintas pruebas de funcionamiento, las pruebas realizadas sirvieron para recopilar datos y posteriormente analizarlos, las variables que se tuvo en cuenta fueron, el tiempo, la altura de descarga, la velocidad del agua en el canal, y la velocidad angular de la rueda.

Las pruebas se las realizo a diferentes alturas y teniendo como constante la manguera de descarga que era de $\frac{3}{4}$ (diámetro interior 21mm), el tiempo se lo tomo mediante un cronometro, para cada una de las alturas se tomó cinco datos y se sacó un promedio del tiempo, las alturas que se tomaron como referencia fueron de 0m, 5m y 10m respectivamente. En la **tabla 11** se muestra los datos tomados en el campo.

Tabla 11

Datos de campo.

H	t1	t2	t3	t4	t5	tp
(m)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
10	147,4	151,6	149,2	152,8	150,4	150,28
5	112,9	114,8	115,2	116,7	120,7	116,06
0	98,3	97,4	96,1	102,2	99,3	98,66

Fuente: Propio.

Para poder medir el caudal de descarga de la bomba, se midió el tiempo que tarda en llenar un recipiente de 20 L, para cada una de las alturas. En la **tabla 12** se muestra el caudal de descarga para cada una de ellas. Luego de medir el tiempo en varias ocasiones con la finalidad de obtener el tiempo promedio.

Tabla 12

Caudal de descarga.

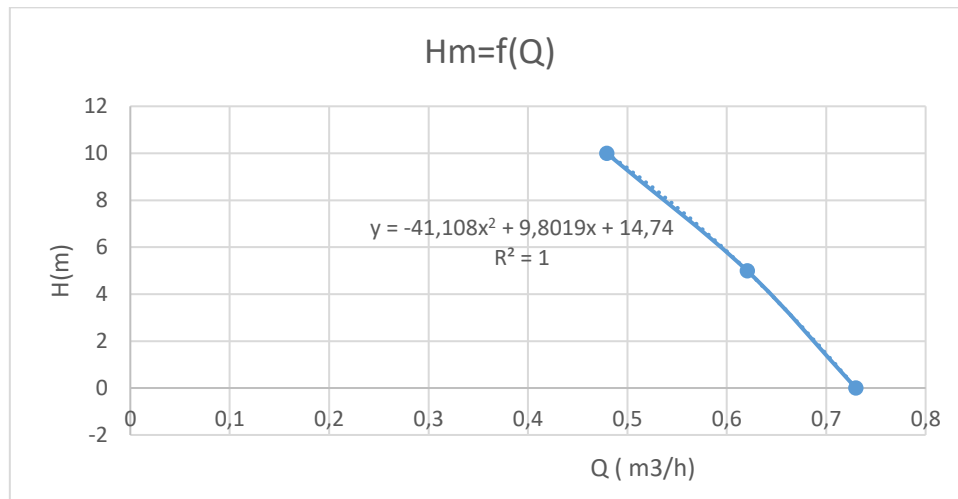
H	recipiente	Recipiente	tp	Q	Q	Q
(m)	(L)	(m3)	(s)	(m3/s)	(L/min)	(m3/h)
10	20	0,02	150,28	0,00013308	7,985	0,47910567
5	20	0,02	116,06	0,00017232	10,339	0,62036877
0	20	0,02	98,66	0,00020272	12,163	0,72977904

Fuente: Propio.

Para graficar la curva característica de la bomba Barsha se toma en cuenta la altura de descarga en función del caudal, matemáticamente se escribe así ($H_m = f(Q)$). Se gráfica la altura en metros y el caudal en m^3/h .

Tabla 13

Curva de la bomba Barsha.



Fuente: Propio.

Cálculo de la potencia hidráulica.

Para el cual se utiliza la altura máxima de descarga véase en la **tabla 13**.

$$P_o = \gamma_{\text{agua}} QH$$

$$P_o = \left(9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right) \left(0,00013308 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) (10\text{m})$$

$$P_o = 13,055 \text{ [W]}$$

La potencia máxima se la considera para la altura máxima, en realidad la potencia tiene un comportamiento variable en función de los parámetros Q y H .

En las pruebas siguientes que se realizó a la bomba Barsha, se logró determinar la fuerza que ejerce el canal sobre las paletas, también se logró determinar el rendimiento de la bomba Barsha a diferentes alturas.

Para estas pruebas se utilizó manguera de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ en la descarga, para las siguientes alturas de 0, 5, 10m respectivamente, para cada una de las mangueras se tomó el tiempo que tarda en llenar un recipiente de 20 L, a distintas alturas, como se muestra en la **tabla 14**. Obteniendo un tiempo promedio.

Tabla 14

Tiempo de llenado del recipiente a distintas alturas.

Ø (pul)	H (m)	Tiempo de llenado (min)					Tp	
		t1	t2	t3	t4	t5	(min)	(s)
	0	2,56	2,44	2,35	2,25	2,43	2,394	143,64
1/2	5	2,55	2,56	2,49	3,1	2,48	2,636	158,16
	10	3,25	3,29	3,15	3,22	3,26	3,234	194,04
	0	1,36	1,47	1,48	1,52	1,50	1,466	87,96
3/4	5	2,2	1,45	1,55	1,59	1,9	1,738	104,28
	10	3,00	2,3	2,44	2,37	2,41	2,504	150,24

Fuente: Propio.

En cambio, para poder calcular la fuerza que ejerce el agua sobre las paletas se utilizó una romana y una soga, para medir la fuerza se procedió de la siguiente manera.

1. Se preparó todos los materiales a utilizar para la prueba.
2. Se colocó la romana en una paleta y se dejó que la paleta opuesta se sumerja en el agua.
3. Se procedió aplicar una fuerza para que la rueda se detenga totalmente,
4. Una vez que la rueda se detuvo totalmente se midió el desplazamiento que tuvo el resorte de la romana.
5. Se realizó varias pruebas para tener una mayor precisión en los cálculos.

Una vez que se realizó las pruebas se obtuvo los siguientes datos que se muestran en la **tabla 15**.

Para los cálculos se consideró la altura sobre el nivel del mar que se encuentra el cantón Catamayo por lo que la gravedad local varía.

Donde:

$$\text{Altura} = 1238 \text{ m. s. n. m}$$

$$g_l = 9,77 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Tabla 15

Fuerza del canal sobre las paletas.

Fuerza del canal (Kg)								Fp	Fp
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Kg	N
8	7,5	8,5	9	9,5	7	6	6,5	7,75	75,795

Fuente: Propio.

Cálculo del número de revoluciones que tienen las espirales de la bomba Barsha, para una altura de 10 metros y la manguera de ½ se la tomara de referencia para todos los cálculos.

De la **tabla 9**, se obtiene las RPM de la bomba Barsha y la velocidad angular.

$$n = 12,34 \text{ rpm}$$

$$\omega_{\text{rueda}} = 1,292 \text{ rad/s}$$

El tiempo utilizado para calcular del número de revoluciones, se toma el tiempo promedio representado en la **tabla 14**, para una altura de 10 metros y una manguera de ½.

$$T_p = 194,04 \text{ s}$$

$$\text{rev} = \frac{\omega_{\text{rueda}} T_p}{2\pi}$$

$$\text{rev} = \frac{(1,292 \frac{\text{rad}}{\text{s}})(194,04 \text{ s})}{2\pi}$$

$$\text{rev} = 39,90$$

Luego se calcula el caudal, para ello se toma los mismos datos anteriores y un recipiente de 20L.

$$Q_{\text{rec}} = \frac{V_r}{T_p}$$

$$Q_{\text{rec}} = \frac{0,02\text{m}^3}{194,04\text{s}}$$

$$Q_{\text{rec}} = 1,03 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se puede llenar la **tabla 16** con los datos faltantes para cada uno de ellos se realiza el mismo procedimiento.

Tabla 16.

Caudal y número de revoluciones a diferentes alturas.

\varnothing (pul)	H (m)	RPM	ω (rad/s)	T_p (s)	REV	V_r (m3)	Q (m3/s)	Q (m3/h)	D_{espiral} (m)
	0	12,34	1,292	143,64	29,54	0,02	$1,39 \times 10^{-4}$	0,5	1,5
$\frac{1}{2}$	5	12,34	1,292	158,16	32,52	0,02	$1,26 \times 10^{-4}$	0,45	1,5
	10	12,34	1,292	194,04	39,91	0,02	$1,03 \times 10^{-4}$	0,37	1,5
	0	12,34	1,292	87,96	18,09	0,02	$2,27 \times 10^{-4}$	0,81	1,5
$\frac{3}{4}$	5	12,34	1,292	104,28	21,44	0,02	$1,62 \times 10^{-4}$	0,69	1,5
	10	12,34	1,292	150,24	30,89	0,02	$1,33 \times 10^{-4}$	0,47	1,5

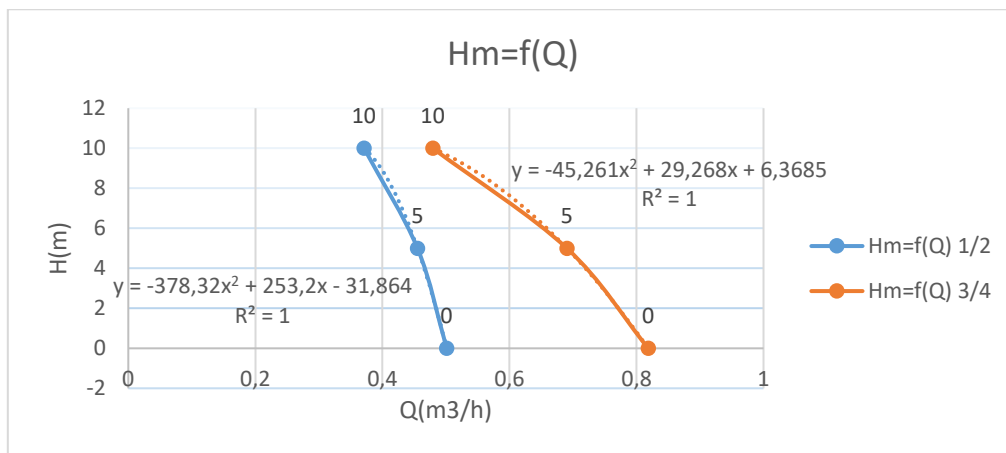
Fuente: Propio.

Las curvas características para las mangueras de descarga de $\frac{1}{2}$ y de $\frac{3}{4}$ se las realizo a diferentes alturas de la bomba Barsha las cuales se las gráficas de acuerdo a la altura. La altura de descarga se encuentran en función del caudal y matemáticamente se escribe así ($H_m = f(Q)$). Se gráfica la altura en metros y el caudal en m^3/h .

En la primera gráfica que corresponde a la manguera de ½ se observa que tiene un caudal bajo y no cumple con la hipótesis que es de 0,5m³/h a una altura de 5m, por lo que las pérdidas en el transporte desde la bomba Barsha hasta el recipiente son elevadas, mientras que en la segunda grafica la cual corresponde a una manguera de ¾ cumple con la hipótesis planteada y eleva el agua a una altura de 5m un caudal de 0,69m³/h por lo que si cumple la hipótesis que se planteó. En la **tabla 17**, se muestra las gráficas de las diferentes alturas con respecto a los diferentes caudales.

Tabla 17

Gráfica de las alturas en función del caudal.



Fuente: Propio.

Calculo del trabajo de entrada de la bomba Barsha para una altura de 10 metros y la manguera de descarga de ½. Para la fuerza promedio ver la **tabla 15**.

$$W_{ent} = F_p * Rev * D_e * \pi$$

Cálculo del trabajo de entrada en la bomba Barsha.

$$W_{ent} = F_p * Rev * D_e * \pi$$

$$W_{ent} = \pi(75,795N)(39,90)(1,5m)$$

$$W_{\text{ent}} = 14251,3 \text{ [J]}$$

Para calcular el trabajo de salida se toma los mismos datos que se tomó para el trabajo de entrada, lo cual se muestra los resultados de la altura en la **tabla 14**, y los resultados del volumen del recipiente en la **tabla 16**.

$$W_{\text{sal}} = \rho * g * V_r * H$$

$$W_{\text{sal}} = \left(\frac{9770\text{N}}{\text{m}^3} \right) (0,02\text{m}^3)(10\text{m})$$

$$W_{\text{sal}} = 1954 \text{ [J]}$$

Una vez obtenido el trabajo de entrada y el trabajo de salida se puede calcular el rendimiento que tendrá la bomba Barsha a una altura de 10m y una manguera de ½.

Cálculo del rendimiento de la bomba Barsha a una altura de 10 metros.

$$\eta = \frac{W_{\text{sal}}}{W_{\text{ent}}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{1954 \text{ J}}{14295,11 \text{ J}} * 100\%$$

$$\eta = 13\%$$

Una vez calculado el rendimiento para una altura determinada se puede llenar la tabla para las siguientes mediciones que se realizó a diferentes alturas y distintos diámetros de manguera. En la **tabla 18**, se muestra los rendimientos para cada una de las mangueras a diferentes alturas.

Tabla 18*Trabajo realizado por la Bomba.*

$D_{manguera}$ (pul)	W_{ent} (J)	WT_{sal} (J)	η (%)
	10551,7	0	0
1/2	3526,03	977	27,7
	6461,46	1954	13,7
	7660,31	0	0
3/4	7660,31	977	12,75
	11036,5	1945	17,7

Fuente: Propio

7. DISCUSIÓN.

El proyecto de tesis titulado “Diseño y construcción de una bomba Barsha”, tiene como fin elevar agua desde un canal, o río hasta una altura de bombeo de 5m, con un caudal de descarga de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, para un funcionamiento de 24/7 (24h del día siete días a la semana)

La bomba Barsha realizada por la empresa aQysta tiene un máximo de bombeo en vertical de 20m, mientras la que se desarrolló para la elaboración del presente proyecto tiene un máximo de bombeo de una altura de 10m, para la construcción de la bomba se tomó como referencia otras bombas que tienen el similar funcionamiento, como son la bomba de tornillo, la rueda hidráulica, También se ha evidenciado que la bomba ya es una nueva solución en países europeos y recientemente en América del sur y Centroamérica. Siendo un dispositivo amigable con el ambiente.

Para la construcción de la bomba Barsha se tomó como principio los siguientes aspectos.

- Tiene un diseño poco complejo para su construcción
- Facilidad de replicar mecanismos que no se hallan en el mercado.
- Se encuentran los componentes en el medio local.
- Costo de construcción es bajo.
- Es más económica elaborarla que adquirir una que ya está en el mercado.

Los componentes de la bomba Barsha fueron adquiridos en la ciudad de Loja, algunos componentes fueron diseñados de acuerdo a especificaciones de catálogos y circulantes que se consiguió de la empresa AQT, ya que es información reservada de la empresa.

En la fase de pruebas la bomba respondió satisfactoriamente alcanzando la altura de (5 m) de bombeo comprobando la hipótesis planteada.

La construcción de la bomba Barsha es viable debido a que es un mecanismo libre de consumo de materiales derivados del petróleo y puede funcionar en lugares donde no cuente con el servicio de electricidad, puesto que solo necesita de un río o canal para su funcionamiento.

8. CONCLUSIONES.

De acuerdo a cada uno de los Objetivos planteados se pudo cumplir con cada uno de ellos, dando como resultado la construcción de la bomba y posteriormente las pruebas de dicha bomba.

- Se logró diseñar una bomba Barsha funcional con materiales que se encontraron en la localidad con un presupuesto bajo.
- Tomando en cuenta el diseño planteado, se logró fabricar la bomba Barsha de manera satisfactoria cumpliendo con las características descritas por los fabricantes.
- Con las pruebas de campo se logró determinar las características de funcionamiento de la bomba como la altura de descarga y la potencia hidráulica.

9. RECOMENDACIONES.

- Diseñar cada bomba de acuerdo al lugar de funcionamiento con el fin de que las paletas se sumerjan en el agua en su totalidad y tengan un mayor empuje y con ello una mayor altura de descarga.
- En la toma de datos tener instrumentos adecuados para la recopilación de información y obtener datos más precisos y confiables.
- Diseñar un modelo matemático que permita seleccionar cada uno de los componentes comerciales para distintas situaciones de bombeo.
- Buscar un material más liviano para las espirales y replacen al polietileno de MD y con ello abaratar costos de la bomba ya que es la parte más costosa.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguirre, N. (s.f.). *La espiral de Arquímedes en un proyecto de modelación matemática*.
- BARSHA PUMP. (s.f.). Obtenido de <http://www.ideassonline.org/public/pdf/BarshaPumps-ESP.pdf>.
- Diseño de elementos de máquinas 1*. (2013). Piura.
- Echeverría, M. A. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE ESPIRAL*.
- G. S. Pisarenko, A. P. (s.f.). *Manual de resistencia de materiales*. Rumania: Mir. 1979.
- GUERRERO, B. L. (2011). *EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS FLOTANTES*. Obtenido de https://wiki.ead.pucv.cl/images/d/d1/02_Equilibrio.pdf
- Heras, d. l. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona.
- INNOVAGRI. (28 de junio de 2016). Obtenido de <https://www.innovagri.es/actualidad/bomba-hidropropulsada.html>.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: PEARSON.
- NORTON, R. L. (2011). *DISEÑO DE MAQUINAS*. México.
- Pineda, E. V. (2011). *Fluidos calor ondas y sonido* . Loja: EDISUR.
- Rodamientos FAG*. (s.f.). Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut214/FAG.pdf>.
- Ruiz, M. C. (2015). *Resistencia de Materiales*. Barcelona.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riego*. Colombia.
- Shigley, J. (2008). *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- SKF. (octubre de 2015). Obtenido de http://www.skf.com/binary/89-121486/10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf.

Tailer, P. (s.f.). *La bomba en espiral*. Obtenido de

<https://lurkertech.com/water/pump/tailer/?fbclid=IwAR2urab8y3UXC508LK80xMhl>

K3G64ePUzA9peaSUXUu3pSK779NBNcZc

11. ANEXOS.

Anexo 1

MEDIDA COMERCIAL (pulg.)	MEDIDA COMERCIAL (mm)	DIAMETRO INTERNO (mm)	DIAMETRO EXTERNO (mm)	ESPESOR PARED (mm)
1/2"	16	14	16	1.0
5/8"	20	17	20	1.5
3/4"	25	21	25	2.0
1"	32	27	32	2.5
1 1/4"	40	35	40	2.5
1 1/2"	50	44	50	3.0
2"	63	55	63	4.0

Anexo 2



Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Calidad:	JIS 3141 SPCC SD
Espesores:	0,45mm a 1,90mm
Rollos:	X 1219mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero negro

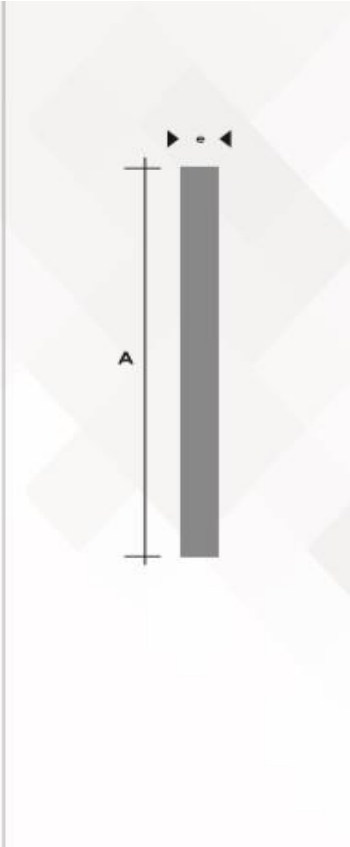
Anexo 3

PLANCHAS ANTIDESLIZANTES

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Calidad:	ASTM A36
Espesores:	2mm a 8mm
Rollos:	X 1219mm
Planchas:	4 x 8 pies Medidas y calidades especiales bajo pedido

Anexo 4



Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm ²
	A	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00

Anexo 5

$f_s = 1,5 \dots 2,5$ para exigencias elevadas

$f_s = 1,0 \dots 1,5$ para exigencias normales

$f_s = 0,7 \dots 1,0$ para exigencias reducidas

Anexo 6

Bombas, ventiladores, compresores

Ventiladores, soplantes	3,5 ... 4,5	Empuje radial o axial, peso del rotor, masa desequilibrada Masa desequilibrada = peso del rotor · fz; velocidad nominal fz = 0,5 para soplantes de aire fresco fz = 0,8 a 1 para extractores de humos
Grandes soplantes	4 ... 5	
Bombas de émbolo	3,5 ... 4,5	Empuje nominal; velocidad nominal Empuje axial, peso del rotor; velocidad nominal
Bombas centrifugas	3 ... 4,5	
Bombas hidráulicas de émbolo, axiales y radiales	1 ... 2,5	Presión nominal; velocidad nominal Presión en servicio; velocidad nominal
Transmisiones de bombas	1 ... 2,5	
Compresores	2 ... 3,5	Presión en servicio; fuerzas máxicas; velocidad nominal

Anexo 7: Planos ubicados en el CD N°2